

TUGAS AKHIR - TM141585

**STUDI NUMERIK ALIRAN MELALUI SQUARE DUCT
DAN SQUARE ELBOW 90° SINGLE GUIDE VANE
DENGAN SQUARE DISTURBANCE BODY PADA
 $g/Dh = 0,5$ DENGAN VARIASI JARAK
LONGITUDINAL**

NURUL FAJRI AL FARIZY PUTERA
NRP 02111645000035

Dosen Pembimbing
Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



TUGAS AKHIR - TM141585

STUDI NUMERIK ALIRAN MELALUI *SQUARE DUCT* DAN *SQUARE ELBOW 90° SINGLE GUIDE VANE* DENGAN *SQUARE DISTURBANCE BODY* PADA $g/Dh = 0,5$ DENGAN VARIASI JARAK LONGITUDINAL

NURUL FAJRI AL FARIZY PUTERA
NRP 02111645000035

Dosen Pembimbing:
Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

PROGRAM SARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



FINAL PROJECT - TM141585

**NUMERICAL STUDY OF FLOW THROUGH
SQUARE DUCT AND SQUARE ELBOW 90°
SINGLE GUIDE VANE WITH SQUARE
DISTURBANCE BODY ON $g/D_h = 0,5$ WITH
LONGITUDINAL LENGHT VARIATION**

NURUL FAJRI AL FARIZY PUTERA
NRP 02111645000035

Advisory Lecturer
Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT.

BACHELOR PROGRAM
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018

**STUDI NUMERIK ALIRAN MELALUI SQUARE
DUCT DAN SQUARE ELBOW 90° SINGLE GUIDE
VANE DENGAN SQUARE DISTURBANCE BODY
PADA $g/Dh = 0,5$ DENGAN VARIASI JARAK
LONGITUDINAL**

TUGAS AKHIR

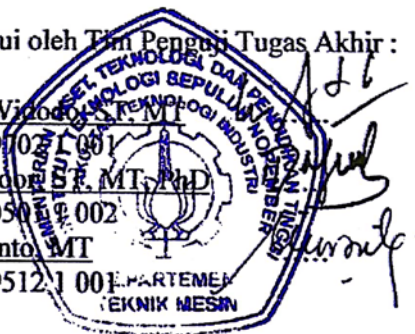
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

NURUL FAJRI AL FARIZY PUTERA
NRP. 021116 45 000035

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Wawan Aries Wijaya ST, MT, PhD (Pembimbing)
NIP. 19710405 1997021 0001
2. Dedy Zulhidayat Nopri ST, MT, PhD (Penguji I)
NIP. 19751206 2005011 0002
3. Dr. Ir. Heru Mirmanto MT (Penguji II)
NIP. 19620216 1995121 0001



SURABAYA

JULI, 2018

**STUDI NUMERIK ALIRAN MELALUI *SQUARE DUCT*
DAN *SQUARE ELBOW 90° SINGLE GUIDE VANE*
DENGAN *SQUARE DISTURBANCE BODY* PADA $g/Dh = 0,5$
DENGAN VARIASI JARAK LONGITUDINAL**

Nama Mahasiswa : Nurul Fajri Al Farizy Putera
NRP : 02111645000035
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT

ABSTRAK

Bangunan yang dibangun secara vertikal tentu membutuhkan saluran pengkondisian udara yang baik. *Ducting* merupakan salah satu saluran yang mana memiliki konstruksi yang terdiri atas berbagai macam komponen. Salah satunya adalah *elbow 90°* yang berfungsi untuk membelokkan aliran agar dapat mengalir ke arah yang diinginkan. Aliran udara yang melalui *elbow 90°* mengalami *pressure drop* yang lebih besar dibandingkan dengan aliran melalui saluran udara lurus pada kecepatan *freestream* yang sama. Karena *pressure drop* yang besar tersebut maka *head loss* pada *elbow 90°* juga semakin besar, sehingga daya yang dibutuhkan untuk mengalirkan udara menjadi semakin besar. Usaha untuk mengurangi *pressure drop* yang terjadi di dalam *elbow 90°* adalah dengan menambahkan *guide vane* pada *elbow 90°* dan sebuah bodi pengganggu berbentuk kotak (*Square Disturbance Body*) sebelum *inlet elbow 90°*. Penambahan *guide vane* dimaksudkan untuk meminimalkan efek *flow separation* dan menekan pembentukan *secondary flow*. Sedangkan untuk penambahan *Square Disturbance Body* (SDB) ditujukan untuk membuat aliran memiliki intensitas turbulensi yang kuat dan mengurangi efek *shear stress* dari *guide vane*.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah simulasi numerik tiga dimensi dengan menggunakan *software CFD* komersial. Benda uji berupa *square duct* dan *square elbow 90°* dengan *single guide vane* dengan panjang *upstream* 875 mm

($7D_h$), panjang *downstream* 3125 mm ($25D_h$), dan jari-jari *elbow* 187,5 mm ($R/D_h = 1,5$). Aliran fluida merupakan udara yang mengalir *steady* dengan kecepatan inlet 2, 6 dan 12 m/s atau $Re_{Dh} \approx 1,5 \times 10^4$; $4,7 \times 10^4$ dan $9,5 \times 10^4$. Penelitian dilakukan dengan variasi jarak longitudinal antara SDB dengan *inlet elbow*, yaitu pada $l/D_h = 0,1$; $0,5$ dan $0,9$.

Dari penelitian ini didapat profil kecepatan di *outlet elbow* pada *ducting* dengan SDB memiliki kecepatan yang lebih besar di sekitar *guide vane*. Hal itu menunjukkan bahwa penambahan SDB mampu meningkatkan momentum aliran sehingga bisa mengurangi efek *shear stress* dari *guide vane*. Namun untuk kontur kecepatan yang dihasilkan di posisi $x/D_h = 26$ pada *ducting* tanpa dan dengan SDB relatif sama dan masih terdapat *secondary flow* pada bagian *center* dan *corner*. Selain itu, penambahan SDB pada $l/D_h = 0,1$ dan $0,9$ efektif untuk mengurangi nilai *pressure drop* pada kecepatan 2 m/s ($Re_{Dh} \approx 1,5 \times 10^4$). Sedangkan penambahan SDB pada $l/D_h = 0,5$ mampu mengurangi nilai *pressure drop* pada kecepatan 6 m/s ($Re_{Dh} \approx 4,7 \times 10^4$).

Kata Kunci: *Square Duct, Elbow 90°, Square Disturbance Body, Pressure Drop, Karakteristik Aliran*

**NUMERICAL STUDY OF FLOW THROUGH SQUARE
DUCT AND SQUARE ELBOW 90° SINGLE GUIDE VANE
WITH SQUARE DISTURBANCE BODY ON $g/Dh = 0,5$ WITH
LONGITUDINAL LENGHT VARIATION**

Name : Nurul Fajri Al Farizy Putera
NRP : 02111645000035
Departement : Mechachanical Engineering, FTI-ITS
Advisory Lecturer : Dr. Wawan Aries Widodo, S.T., M.T

ABSTRACT

The vertically building certainly require a good air conditioning channel. Ducting is one channel which has a construction that consists of various components. One is a elbow 90° that serves to bend the flow in order to flow in the desired direction. The air flow through the elbow 90° experiences a greater pressure drop than the flow through the straight air channel at the same freestream velocity. Due to the large pressure drop, the head loss on the elbow 90° is also greater, so the power required to drain the air becomes larger. Efforts to reduce the pressure drop that occurs within the elbow 90° is to add a guide vane to a elbow 90° and a square disturbance body before the elbow 90° inlet. The addition of a guide vane is intended to minimize flow separation effects and suppress the formation of secondary flow. As for the addition of Square Disturbance Body (SDB) is intended to make the flow has a strong turbulence intensity and reduce the effects of shear stress from the guide vane.

The method used in this research is a three-dimensional numerical simulation using commercial CFD software. The test specimen is square duct and square elbow 90° single guide vane with 875 mm (7Dh) upstream length, 3125 mm downstream length (25Dh), and elbow radius 187,5 mm ($R/Dh = 1,5$). Fluid flow is steady air with a velocity of 2, 6 and 12 m/s or $Re_{Dh} \approx 1,5 \times 10^4$; $4,7 \times 10^4$ and $9,5 \times 10^4$. The study was conducted by

variation of longitudinal distance between SDB with elbow inlet at $l/Dh = 0,1; 0,5$ and $0,9$.

From this study obtained velocity profile at elbow outlet on ducting with SDB has greater velocity around guide vane. It shows that the addition of SDB can increase the flow momentum so that it can reduce the effect of shear stress from guide vane. However, for the resulting velocity contours in the position of $x/Dh = 26$ on ducting without and with SDB is relatively the same and there is still secondary flow in the center and corner. In addition, the addition of SDB at $l/Dh = 0,1$ and $0,9$ was effective to reduce the pressure drop value at 2 m/s ($Re_{Dh} \approx 1,5 \times 10^4$). While addition of SDB at $l/Dh = 0,5$ can reduce pressure drop value at velocity 6 m/s ($Re_{Dh} \approx 4,7 \times 10^4$).

Keywords: *Square Duct, Elbow 90° , Square Disturbance Body, Pressure Drop, Flow Characteristics*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberi segala rahmat dan hidayah-Nya hingga penulis dengan segala keterbatasannya dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul: **Studi Numerik Aliran Melalui *Square Duct dan Square Elbow 90° Single Guide Vane* dengan *Square Disturbance Body* pada $g/Dh = 0,5$ dengan Variasi Jarak Longitudinal**.

Penyelesaian tugas akhir ini merupakan syarat kelulusan akademis untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik dalam menempuh pendidikan Bidang Studi Konversi Energi di Lintas Jalur S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam terselesaikannya tugas akhir ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu secara moril ataupun materiil, yakni :

1. Bapak Dr. Wawan Aries Widodo, ST, MT sebagai dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan bimbingan, ilmu, dan bantuan sehingga penulis mampu menyelesaikan pengerjaan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Bambang Pramujati, M.Sc.Eng., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Bapak Dr. Sutikno, ST., MT. selaku dosen wali.
4. Tim dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam rangka perbaikan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen dan karyawan Teknik Mesin yang telah banyak memberikan bantuan dan bimbingan pada penulis dalam menggali ilmu di Teknik Mesin FTI ITS ini.
6. Ayah, Mama, Mas Yayak, dan Dek Ries yang selalu memberi doa dan motivasi yang luar biasa pada penulis.
7. Arif, Dheka, Aulia, Hisem, dan Mas Oddie yang saling memberi pengetahuan dan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir selama bimbingan tugas akhir.

8. Teman-teman Gustri Education Center (GEC), Gustri, Doni, Rere, Krisna dan Ladrian yang telah memberi banyak tawa, semangat dan ilmu-ilmu baru selama menempuh studi di LJ S1 Teknik Mesin ini.
9. Teman-teman LJ S1 Teknik Mesin 2016 yang banyak membantu dalam proses perkuliahan.
10. Teman-Teman 27A Community yang telah banyak membantu penulis selama kuliah.
11. Teman-Teman FORKAMP yang memberi semangat pada penulis untuk segera menyelesaikan kuliah.
12. Seluruh pihak yang belum disebutkan di atas yang telah memberikan doa, bantuan, dan dukungannya bagi penulis hingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.

Penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tugas akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Karakteristik Aliran Melalui Saluran	7
2.1.1. Aliran Laminar	7
2.1.2. Aliran Transisi	7
2.1.3. Aliran Turbulen	8
2.1.4. Aliran Berkembang Penuh (<i>Fully</i> <i>Developed Flow</i>)	9
2.1.5. <i>Separation Flow</i> pada <i>Elbow 90°</i>	9
2.1.6. <i>Secondary Flow</i> pada <i>Elbow 90°</i>	10
2.2. <i>Pressure Coefficient</i>	11
2.3. <i>Head Loss</i>	12
2.3.1. <i>Head Loss Mayor</i>	13
2.3.2. <i>Head Loss Minor</i>	14
2.4. Intensitas Turbulensi	15
2.5. <i>Grid Independency</i>	15
2.5.1. Model Turbulensi	16
2.5.2. <i>Boundary Conditions</i>	17

2.6. Penelitian Terdahulu	17
2.6.1. Penelitian Prasun Dutta dkk (2015)	18
2.6.2. Penelitian Ran Gao dkk. (2017)	19
2.6.3. Penelitian K. Rup dan P. Sarna (2011)	21
2.6.4. Penelitian Sutardi dkk. (2010)	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1. Geometri <i>Ducting</i>	26
3.2. Metode Numerik	27
3.2.1. Tahap <i>Pre-Processing</i>	27
3.2.2. Tahap <i>Processing</i>	28
3.2.3. Tahap <i>Post-processing</i>	30
3.3. Langkah – Langkah Penelitian	31
3.4. Analisis <i>Grid Independency</i>	32
3.5. <i>Flowchart</i> Penelitian	34
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Sepanjang <i>Ducting</i> dengan Kontur Kecepatan	35
4.1.1. Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Sepanjang <i>Ducting</i> dengan Kontur Kecepatan (tanpa <i>SDB</i> dan dengan <i>SDB</i> $l/D_h = 0,1$)	35
4.1.2. Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Sepanjang <i>Ducting</i> dengan Kontur Kecepatan (tanpa <i>SDB</i> dan dengan <i>SDB</i> $l/D_h = 0,5$)	40
4.1.3. Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Sepanjang <i>Ducting</i> dengan Kontur Kecepatan (tanpa <i>SDB</i> dan dengan <i>SDB</i> $l/D_h = 0,9$)	44
4.1.4. Perbandingan Kontur Intensitas Turbulensi dari Semua Variasi	48
4.2. Perbandingan Vektor Kecepatan dan Kontur <i>Pathline</i> Setiap <i>Surface Cross-section</i> Tanpa dan dengan <i>SDB</i> pada $Re = 1,5 \times 10^4$	49

4.2.1. Visualisasi Vektor Kecepatan dan Kontur <i>Pathline</i> Setiap <i>surface Cross-section</i> Tanpa <i>SDB</i>	49
4.2.2. Visualisasi Vektor kecepatan dan kontur <i>Pathline</i> Setiap <i>Surface Cross-section</i> dengan <i>SDB</i> pada $l/D_h = 0,1$	52
4.2.3. Visualisasi Vektor kecepatan dan kontur <i>Pathline</i> Setiap <i>Surface Cross-section</i> dengan <i>SDB</i> pada $l/D_h = 0,5$	54
4.2.4. Visualisasi Vektor kecepatan dan kontur <i>Pathline</i> Setiap <i>Surface Cross-section</i> dengan <i>SDB</i> pada $l/D_h = 0,9$	56
4.3. Perbandingan Profil Kecepatan Setiap Variasi <i>Ducting</i> pada Posisi Tertentu	58
4.3.1. Posisi <i>Outlet Elbow</i>	58
4.3.2. Posisi $x/D_h = 26$	60
4.4. Perbandingan Data Kuantitatif Setiap Variasi Model <i>Ducting</i> pada Setiap Variasi Kecepatan	61
4.4.1. <i>Pressure Drop</i>	62
4.4.2. <i>Pressure Coefficient</i>	68
BAB V PENUTUP	71
5.1. Kesimpulan	71
5.2. Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	74
BIODATA PENULIS	

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran Laminar	7
Gambar 2.2 Aliran Transisi	7
Gambar 2.3 Aliran Turbulen	8
Gambar 2.4 Profil kecepatan untuk aliran di dalam saluran.....	9
Gambar 2.5 Terjadinya separasi aliran pada <i>inner</i> <i>Elbow 90°</i>	10
Gambar 2.6 Terjadinya <i>secondary flow</i> pada <i>Elbow 90°</i>	11
Gambar 2.7 Geometri pipa melengkung dan permodelan komputasinya	18
Gambar 2.8 <i>Velocity profile</i> pada sudut 0°, 30°, 60°, dan 90° dengan variasi <i>curvature ratio</i> ($R_c/D = 1 - 5$)	19
Gambar 2.9 Skema Model Eksperimen VAC Tubes.....	20
Gambar 2.10 Skema Model Optimasi <i>Elbow</i>	20
Gambar 2.11 a) Posisi pengambilan data pada <i>domain</i> uji b) Mesh pada <i>Volume</i>	22
Gambar 2.12 Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $x/Dh = 1.0$ dan $z/Dh = 0.0$	22
Gambar 2.13 Perbandingan koefisien tekanan pada kedua sisi <i>inner</i> dan <i>outer wall elbow</i> hasil simulasi dan eksperimen	23
Gambar 3.1 Geometri <i>straight duct</i> , <i>square elbow 90°</i> , serta bodi pengganggu	26
Gambar 3.2 Geometri <i>square disturbance body</i>	27
Gambar 3.3 Posisi <i>square disturbance body</i>	27
Gambar 3.4 Gambar detail <i>meshing square ducting (top)</i>	28
Gambar 3.5 Domain Pemodelan <i>Square Duct</i>	29
Gambar 3.6 Posisi Pengambilan Data	31
Gambar 3.7 Perbandingan beberapa model turbulensi.....	32
Gambar 3.8 Grafik <i>Pressure Drop vs Mesh Cells</i>	33
Gambar 3.9 <i>Flowchart</i> Penelitian	34

Gambar 4.1 Perbandingan profil kecepatan dan kontur kecepatan aliran <i>ducting</i> (a) tanpa SDB dan (b) dengan SDB pada $l/Dh= 0,1$	37
Gambar 4.2 Profil kecepatan <i>ducting</i> tanpa dan dengan SDB pada $l/Dh= 0,1$	39
Gambar 4.3 Perbandingan profil kecepatan dan kontur kecepatan aliran <i>ducting</i> (a) tanpa SDB dan (b) dengan SDB pada $l/Dh= 0,5$	41
Gambar 4.4 Profil kecepatan <i>ducting</i> tanpa dan dengan SDB pada $l/Dh= 0,5$	43
Gambar 4.5 Perbandingan profil kecepatan dan kontur kecepatan aliran <i>ducting</i> (a) tanpa SDB dan (b) dengan SDB pada $l/Dh= 0,9$	45
Gambar 4.6 Profil kecepatan <i>ducting</i> tanpa dan dengan SDB pada $l/Dh= 0,9$	47
Gambar 4.7 Perbandingan Kontur Intensitas Turbulensi <i>Ducting</i>	48
Gambar 4.8 Vektor kecepatan dan kontur <i>pathline</i> pada <i>ducting</i> tanpa SDB	51
Gambar 4.9 Vektor kecepatan dan kontur <i>pathline</i> pada <i>ducting</i> dengan SDB $l/Dh=0,1$	53
Gambar 4.10 Vektor kecepatan dan kontur <i>pathline</i> pada <i>ducting</i> dengan SDB $l/Dh=0,5$	55
Gambar 4.11 Vektor kecepatan dan kontur <i>pathline</i> pada <i>ducting</i> dengan SDB $l/Dh=0,9$	57
Gambar 4.12 Profil kecepatan aliran tiap variasi <i>ducting</i> tanpa dan dengan SDB pada <i>outlet elbow</i>	58
Gambar 4.13 <i>Pathline surface</i> tiap variasi <i>ducting</i> pada <i>outlet elbow</i>	59
Gambar 4.14 Profil kecepatan aliran tiap variasi <i>ducting</i> tanpa dan dengan SDB pada $x/Dh= 26$	60
Gambar 4.15 <i>Pathline surface</i> tiap variasi <i>ducting</i> pada $x/Dh = 26$	61
Gambar 4.16 Grafik <i>Pressure Drop Upstream Duct</i>	63
Gambar 4.17 Grafik <i>Pressure Drop Elbow</i>	64

Gambar 4.18 Grafik <i>Pressure Drop Downstream</i>	66
Gambar 4.19 Grafik <i>Pressure Drop Overall Square Duct</i> dengan <i>elbow 90°</i>	67
Gambar 4.20 Grafik <i>Pressure Coefficient Square Duct</i> dengan <i>elbow 90° Single Guide Vane</i>	68

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Pengurangan <i>Drag</i> setelah Optimasi	21
Tabel 2.2	Efek pemberian <i>guide vane</i> pada <i>pressure drop</i>	24
Tabel 3.1	<i>Grid independency</i> ditinjau dari <i>Pressure drop</i> pada <i>ducting</i>	33
Tabel 4.1	<i>Pressure drop section inlet</i> dan <i>outlet upstream</i>	62
Tabel 4.2	<i>Pressure drop section inlet</i> dan <i>outlet elbow</i>	63
Tabel 4.3	<i>Pressure drop section inlet</i> dan <i>outlet downstream</i>	65
Tabel 4.4	<i>Pressure drop section inlet</i> dan <i>outlet duct</i>	66

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi dan semakin bertambahnya jumlah penduduk, pembangunan vertikal menjadi salah satu pilihan saat ini. Di kota besar seluruh dunia banyak dijumpai gedung-gedung pencakar langit yang dibangun dan difungsikan untuk berbagai macam keperluan. Begitu pula di Indonesia, kota besar seperti Surabaya memiliki banyak gedung pencakar langit yang berfungsi sebagai pusat perkantoran, hotel, apartemen, dan lain-lain. Bangunan yang dibangun secara vertikal seperti ini tentu membutuhkan saluran pengkondisian udara. Tentu saja adanya saluran tersebut membutuhkan energi yang cukup besar. Hal itu dikarenakan sistem perpipaan seperti ini pasti memiliki kerugian energi, terutama diakibatkan *fitting* perpipaan yang digunakan untuk menyalurkan udara ke lokasi-lokasi tertentu, misalnya ke lantai paling atas. Untuk meningkatkan efisiensi energi maka kerugian energi harus mampu diatasi dengan membuat rekayasa pada saluran tersebut. Jika kerugian energi akibat saluran udara dapat dikurangi maka kebutuhan energi dapat ditekan sehingga bisa menjadi lebih hemat.

Konstruksi dari saluran udara terdiri atas berbagai macam komponen. Salah satunya adalah *elbow 90°* yang berfungsi untuk membelokkan aliran agar dapat mengalir ke arah yang diinginkan. Seperti pada *fitting* perpipaan yang lain, aliran udara yang melalui *elbow 90°* mengalami *pressure drop* yang lebih besar dibandingkan dengan aliran melalui saluran udara lurus pada kecepatan *freestream* yang sama. Karena *pressure drop* yang besar tersebut maka kerugian energi (*head loss*) pada *elbow 90°* juga semakin besar, sehingga daya yang dibutuhkan untuk mengalirkan udara pada alat penyalur udara seperti blower atau kompresor menjadi semakin besar. *Pressure drop* pada *elbow 90°* disebabkan oleh fenomena-fenomena aliran yang terjadi di

dalamnya, yaitu *friction loss* dan separasi aliran yang menyebabkan adanya *secondary flow*. *Friction loss* disebabkan oleh gesekan antara udara dan dinding saluran *elbow*. Sedangkan *secondary flow* terjadi akibat dari perbedaan distribusi tekanan pada *inner wall elbow 90°* dan *outer wall elbow 90°*. Tekanan pada sisi *outer wall* lebih besar dari pada sisi *inner wall*, sehingga partikel fluida bergerak menuju sisi *inner wall*. Pada bagian *corner*, *secondary flow* ini mengakibatkan penyumbatan aliran (*blockage effect*) sehingga area efektif yang mampu dilalui udara (*effective flow area*) menjadi berkurang.

Usaha untuk mengurangi *pressure drop* yang terjadi di dalam *elbow 90°* adalah dengan menambahkan *guide vane* pada *elbow 90°* dan sebuah bodi pengganggu berbentuk kotak (*Square Disturbance Body*) sebelum *inlet elbow 90°*. Penambahan *guide vane* dimaksudkan untuk meminimalkan efek *flow separation* di dinding *elbow*. Dengan penambahan *guide vane* diharapkan pula kemungkinan pembentukan *secondary flow* di *elbow* dapat ditekan. Sedangkan untuk penambahan *Square Disturbance Body* ditujukan untuk menunda *separation point* dan membuat aliran memiliki intensitas turbulensi yang kuat. Intensitas turbulensi yang semakin kuat menyebabkan momentum aliran juga semakin kuat sehingga mampu melawan *adverse pressure gradient*. Selain itu juga dapat mengurangi gaya hambat (*drag force*) pada suatu konfigurasi lingkaran silindris (seperti penampang *elbow 90°*). Dengan berkurangnya *drag force*, akan terjadi penurunan pada *head loss minor* sehingga nilai *pressure drop* yang terjadi juga akan semakin mengecil.

Penelitian tentang aliran melalui bodi pengganggu berbentuk kotak (*square*) dan aliran melalui saluran udara dengan *elbow 90°* juga telah dilakukan. **Dutta dkk (2015)** melakukan studi eksperimen dan numerik tentang pengaruh *Reynolds Number* dan *Curvature Ratio* pada aliran turbulen dalam pipa melengkung. Dari penelitian ini didapatkan bahwa untuk nilai *Re* yang semakin tinggi, maka pengaruh kelengkungan akan menurun. Kecenderungan separasi aliran akan meningkat

untuk lengkungan dengan *curvature ratio* yang rendah serta kemampuan melawan *unsteady* dan *complex flow* akan meningkat untuk lengkungan dengan *curvature ratio* yang tinggi.

Gao dkk (2017) melakukan penelitian yang dilakukan secara simulasi dan eksperimen pada *square ducting* dan *square elbow 90°* untuk menganalisa efek dari beberapa desain *elbow 90°* terhadap *drag* yang terjadi. Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa rasio pengurangan *drag* pada desain *elbow 90°* setelah mengoptimalkan bentuk *outer elbow* adalah 6,53%, sedangkan setelah mengoptimalkan bentuk *inner elbow* didapatkan rasio pengurangan *drag* sebesar 5,95%. Sebaliknya, pengurangan *drag* dari siku menjadi semakin jelas setelah mengoptimalkan busur dalam dan luar. Skema optimal setelah mengoptimalkan sisi *inner* dan *outer*, mengurangi *drag* sebesar 9% - 10%.

Sutardi dkk (2010) melakukan penelitian yang dilakukan secara eksperimen untuk menganalisa karakteristik aliran melalui *square duct*. Dari eksperimen diketahui bahwa penambahan satu, dua atau tiga *guide vane* secara signifikan mengurangi perbedaan tekanan antara *inner* dan *outer wall* pada *elbow*. Fenomena ini menunjukkan bahwa tekanan pada sisi *outer wall* lebih besar dari pada sisi *inner wall*, sehingga partikel fluida bergerak menuju sisi *inner wall*. Walaupun penambahan *guide vane* dapat menekan terbentuknya *secondary flow*, hal ini justru meningkatkan *friction drag*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, baik yang dilakukan secara eksperimental maupun pemodelan numerik tentang reduksi *pressure drop* aliran melalui saluran udara berpenampang bujur sangkar, yang terdiri dari *upstream duct*, *elbow 90°* dengan dan tanpa *guide vane*, serta *downstream duct*. *Pressure drop* direduksi dengan menempatkan body pengganggu (*disturbance body*) berbentuk *square* yang ditempatkan pada sisi *upstream duct*, sebelum aliran memasuki

elbow 90°. Interaksi aliran dengan *disturbance body* tersebut diharapkan dapat menghasilkan intensitas turbulensi yang semakin kuat dan digunakan untuk meningkatkan momentum aliran pada sisi-sisi *guide vane*, serta diharapkan dapat menunda separasi akibat tegangan geser pada dinding *guide vane*.

Penambahan *guide vane* pada *elbow 90°* sebagaimana penelitian **Sutardi, dkk (2010)** pada bilangan Reynolds yang rendah mampu mereduksi *pressure drop*, namun pada bilangan Reynolds yang lebih tinggi gagal untuk mereduksi *pressure drop*. Selanjutnya dapat dirumuskan sebuah masalah baru yaitu dengan kombinasi penambahan *guide vane* pada *elbow 90°* dan penempatan *disturbance body* pada bagian tengah *upstream duct* searah *guide vane*, yang dialiri fluida pada berbagai variasi bilangan Reynolds dengan basis diameter hidrolis *duct* diharapkan dapat memberikan informasi berkenaan dengan reduksi *pressure drop* pada saluran udara berpenampang bujur sangkar tersebut.

Disturbance body berbentuk *square* atau yang disebut dengan *square disturbance body* (SDB) ditempatkan pada *upstream duct* pada jarak longitudinal tertentu ($l/D_h = 0,1; 0,5$ dan $0,9$) dari *inlet elbow*, jarak gap ($g/D_h = 0,5$ (konstan) searah dengan *guide vane*, serta *elbow 90°* dengan $R/D_h = 1,5$ dengan tambahan *guide vane* tunggal. Kombinasi kedua hal tersebut selanjutnya divariasikan dengan kecepatan aliran dari 2 m/s, 6 m/s, dan 12 m/s atau pada bilangan Reynolds ($1,5 \times 10^4$; $4,7 \times 10^4$ dan $9,5 \times 10^4$). Fenomena interaksi aliran pada saluran udara berkaitan dengan variasi tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk data tentang *pressure drop* pada saluran udara seluruhnya, *upstream duct*, *elbow 90°*, *downstream duct*, distribusi koefisien tekanan pada sisi *inner* dan *outer elbow 90°*, serta profil kecepatan pada *upstream duct* dan *downstream duct* pada beberapa posisi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui detail karakteristik aliran sebagai akibat pengaruh variasi jarak longitudinal *Square Disturbance Body*, dengan melakukan analisis karakteristik berupa:

1. Profil kecepatan, vektor kecepatan dan intensitas turbulensi.
2. Kontur kecepatan dan kontur *pathline*.
3. *Pressure drop* dan *pressure coefficient*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat setelah melakukan penelitian studi numerik ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi jarak *Square Disturbance Body* dengan *inlet elbow 90°* terhadap profil kecepatan, vektor kecepatan dan intensitas turbulensi.
2. Mengetahui pengaruh variasi jarak *Square Disturbance Body* dengan *inlet elbow 90°* terhadap kontur kecepatan dan kontur *pathline*.
3. Mengetahui pengaruh variasi jarak *Square Disturbance Body* dengan *inlet elbow 90°* terhadap *pressure drop* dan *coefficient of pressure*.

1.5 Batasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan beberapa batasan yang berisi tentang variabel yang akan diteliti maupun variabel yang akan diasumsikan sehingga bahasan tidak melebar dari tujuan utama. Batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut :

1. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian adalah *software CFD* komersial.
2. Fluida kerja adalah udara dengan profil kecepatan udara uniform pada sisi *inlet upstream*. Aliran fluida bersifat *incompressible flow*, *viscous* dan *steady flow*.
3. Temperatur fluida didalam udara diasumsikan konstan yaitu $T = 301 \text{ K}$.

4. Aliran yang melintasi *square duct* memiliki region aliran turbulen.
5. Studi numerik dilakukan pada kecepatan inlet 2, 6 dan 12 m/s.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Aliran Melalui Saluran

Karakteristik struktur aliran internal (dalam pipa) sangat tergantung dari kecepatan rata-rata aliran dalam pipa, densitas, viskositas dan diameter pipa. Pada instalasi sistem *ducting* ataupun perpipaan, *elbow* merupakan bagian yang menyebabkan terjadinya *pressure drop* cukup besar. Hal tersebut dikarenakan adanya perubahan arah aliran fluida yang dapat menyebabkan terjadinya separasi dan *secondary flow*.

2.1.1 Aliran Laminar

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan–lapisan dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan *Reynolds* kurang dari 2300 ($Re \leq 2300$).



Gambar 2.1 Aliran Laminar

2.1.2 Aliran Transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan *Reynolds*-nya antara 2300 sampai dengan 4000 ($2300 \leq Re \leq 4000$).



Gambar 2.2 Aliran Transisi

2.1.3 Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dimana nilai bilangan *Reynolds*-nya lebih besar dari 4000 ($Re \geq 4000$).



Gambar 2.3 Aliran Turbulen

Kondisi aliran *laminar* atau *turbulent* dapat dinyatakan dengan bilangan *Reynolds* untuk aliran *incompressible*. Jenis lapis batas yang terjadi pada aliran udara yang mengalir suatu obyek juga sangat ditentukan oleh bilangan *Reynolds* (Re). Pada aliran internal diameter hidrolis (D_h) digunakan untuk perhitungan saluran tak bundar. Diameter hidrolis dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$D_h = \frac{4.A}{P} \quad (2.1)$$

dimana : A = Luas penampang
 P = keliling penampang

Sehingga,

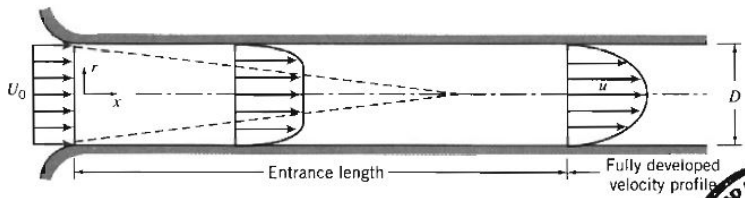
$$Re_{Dh} = \frac{\rho \cdot U_{ref} \cdot D_h}{\mu} \quad (2.2)$$

dimana: Re_{Dh} = bilangan *Reynolds* pada penampang dengan diameter hidrolis
 U_{ref} = kecepatan aliran *fluida* (m/s)
 D_h = diameter dalam saluran (m)
 μ = viskositas kinematis fluida (Nm/s^2)

2.1.4 Aliran Berkembang Penuh (*Fully Developed Flow*)

Fully Developed Flow merupakan suatu fenomena aliran dimana terjadinya *boundary layer* maksimum atau profil kecepatan yang tetap, tidak mengalami perubahan. Profil ini dipengaruhi oleh viskositas yang berakibat pada terjadinya gaya geser antara profil kecepatan.

Fenomena aliran seperti ini akan terjadi ketika aliran yang mengalir tidak mengalami gangguan, seperti fitting, instalasi, dan sebagainya. Setiap aliran baik aliran laminar maupun aliran turbulen mempunyai besaran yang berbeda dimana untuk aliran laminar bernilai konstan dari titik awal, hal tersebut terjadi karena pengaruh kecepatan fluida sehingga *fully developed flow* lebih cepat, berbeda dengan aliran turbulen dimana *fully developed flow* disebabkan oleh adanya aliran acak sehingga terjadi lebih panjang.

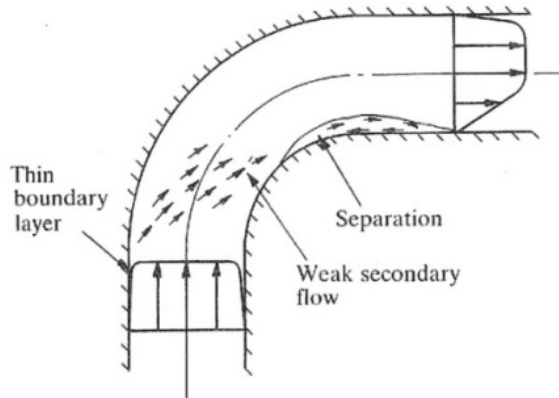


Gambar 2.4 Profil kecepatan untuk aliran di dalam saluran
(Fox dan Mc. Donald, 8th edition)

2.1.5 Separation Flow pada Elbow 90°

Pada gambar 2.5 merupakan visualisasi terjadinya separasi aliran yang dapat menimbulkan terjadinya *pressure drop*. Hal tersebut disebabkan oleh adanya hubungan antara aliran dengan dinding *elbow* sehingga terjadi *friction loss* yang dapat mengurangi momentum dari aliran. Momentum aliran yang semakin kecil akan menambah ketidakmampuan aliran melawan *adverse pressure gradient* sehingga juga akan mengurangi kecepatan aliran dan terbentuknya *vortex* di sekitar dinding *elbow*. Terbentuknya *vortex* tersebut akan berakibat pada

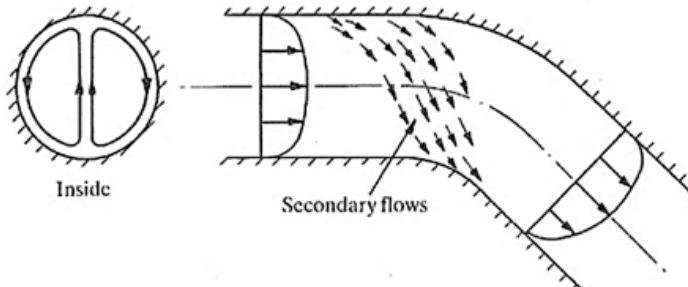
mengecilnya luasan penampang aliran utama yang menyebabkan aliran mengalami percepatan dan menyebabkan terjadinya *pressure drop*.



Gambar 2.5 Terjadinya separasi aliran pada *inner Elbow 90°*
(Miller, 1990)

2.1.6 *Secondary Flow pada Elbow 90°*

Secondary flow terjadi karena adanya perbedaan distribusi tekanan yang terjadi pada sisi *inner* dan *outer wall*. Tekanan statis akan semakin besar pada sisi *outer wall*. Oleh karena itu, aliran yang melewati *elbow* tidak sepenuhnya mengikuti aliran utama, sehingga terjadilah aliran sekunder (*secondary flow*). Pada *square elbow* memiliki ciri yang berbeda dibandingkan dengan *circular elbow*, yaitu terjadinya *secondary flow* pada sisi sudut. Pada *circular elbow*, tidak dijumpai fenomena *boundary layer* pada sisi samping dan bawah, namun pada *square elbow* hal tersebut dapat dijumpai. Interaksi *boundary layer* yang berkembang pada sisi samping dan bawah tersebut yang menyebabkan terjadinya *secondary flow*.



Gambar 2.6 Terjadinya *secondary flow* pada *Elbow 90°*
(Miller, 1990)

2.2 Pressure Coefficient (C_p)

Pada sistem perpipaan maupun saluran udara (*ducting system*), sering kali dilakukan modifikasi parameter, $\frac{\Delta P}{\rho V^2}$ dimana ΔP merupakan selisih antara tekanan statis lokal pada dinding / *wall* dengan tekanan statis acuan / tekanan statis sesuai dengan standart referensi, dengan memasukkan faktor $\frac{1}{2}$ untuk membuat *denominator* / penyebut pada suatu bilangan menjadi tekanan dinamik. Maka dirumuskan pada persamaan 2.3.

$$C_p = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho U_{ref}^2} = \frac{P_s - P_{ref}}{\frac{1}{2}\rho U_{ref}^2} \quad (2.3)$$

dimana: $\frac{1}{2}\rho U_{ref}^2$ = tekanan dinamis pada sisi *inlet elbow*
 P_s = tekanan statis lokal pada dinding
 P_{ref} = tekanan statis acuan (referensi)
 ρ = massa jenis fluida pada kondisi kerja
 U_{ref} = kecepatan *freestream*

Pressure coefficient pada suatu elemen saluran udara seperti pada saluran *elbow* didefinisikan sebagai selisih antara tekanan statis lokal dengan tekanan statis referensi (*freestream*) dibagi dengan tekanan dinamis yang diukur pada bagian sisi *inlet*

elbow. Dalam penentuan besaran *pressure drop* dapat menggunakan C_p sebagai acuan. Dimana semakin besar selisih C_p antara *inlet* dengan *outlet* maka *pressure drop* yang terjadi akan semakin besar.

2.3 *Head Loss*

Head loss merupakan suatu fenomena rugi– rugi aliran di dalam sistem perpipaan. Rugi–rugi aliran selalu terjadi pada sistem perpipaan dengan menggunakan berbagai macam fluida, seperti fluida cair dan gas. Pada umumnya, rugi aliran yang terbesar terjadi pada fluida cair, hal ini dikarenakan sifat molekulnya yang padat dibandingkan gas dan memiliki gesekan lebih besar terhadap media yang dilaluinya, terutama jika koefisien gesek media yang dilalui itu lebih besar, maka gesekan yang terjadi pun akan semakin besar. *Head loss* sangat merugikan dalam aliran fluida di dalam sistem perpipaan, karena *head loss* dapat menurunkan tingkat efisiensi aliran fluida.

Salah satu penyebab *head loss* adalah konstruksi desain dari sistem pemipaan tersebut. Jika konstruksi memiliki percabangan yang lebih banyak maka akan memperbesar rugi alirannya, selain itu aliran yang semula dalam keadaan laminar pada saat melalui pipa lurus yang koefisien geseknya besar akan berubah menjadi aliran turbulen. Kondisi aliran turbulen inilah yang dapat merugikan dalam sistem pemipaan tersebut, seperti akan menimbulkan getaran dan juga pengelupasan dinding pipa. Selain itu akibat yang paling mendasar dengan adanya rugi-rugi aliran (*head loss*) ialah dapat menyebabkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk menggerakkan aliran fluida yang berdampak meningkatnya penggunaan listrik pada mesin penggerak fluida seperti pompa. *Head loss* (rugi aliran) sering terjadi pada sistem pemipaan untuk seluruh perusahaan, industri rumah tangga, dan tempat lainnya yang menggunakan pipa sebagai distribusi aliran fluida.

Persamaan Bernoulli untuk fluida sesungguhnya menggambarkan keseimbangan energi, dengan mengikutsertakan

kerugian-kerugian energi yang terjadi di dalam persamaan tersebut.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{\bar{V}_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{\bar{V}_2^2}{2g} + z_2 + \sum H_{LT} \quad (2.4)$$

Dimana: P = Tekanan statis (Pa)
 \bar{V} = Kecepatan aliran $\left(\frac{m}{s}\right)$
 z = Ketinggian fluida (m)
 ρ = Massa jenis fluida $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
 g = Percepatan gravitasi $\left(\frac{m}{s^2}\right)$
 H_{LT} = Head loss total (m)
 α = Koefisien energi kinetik

Jika diameter sepanjang aliran tetap dan perbedaan ketinggian dianggap sangat kecil, maka untuk mencari *head loss* dapat dicari dengan:

$$\sum H_{LM} = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} \quad (2.5)$$

Head loss aliran terbagi menjadi dua bagian, yaitu *head loss* mayor dan minor.

2.3.1 Head Loss Mayor

Head loss mayor (rugi mayor) adalah besar nilai kehilangan energi yang diakibatkan oleh gesekan antara fluida dengan dinding pipa lurus yang mempunyai luas penampang yang tetap. Untuk menghitung *head loss mayor* dibedakan menurut jenis aliran fluidanya. *Head loss* yang terjadi pada aliran *fully developed* yang melewati pipa lurus horizontal dinyatakan sebagai kerugian tekanan aliran fluida *fully developed* melalui pipa penampang konstan.

a. Laminar

Untuk aliran laminar, berkembang penuh pada pipa horizontal, maka penurunan tekanan dapat dihitung secara analitis, yaitu:

$$\Delta p = \frac{128 \mu L Q}{\pi D^4} = 32 \frac{L}{D} \frac{\mu \bar{V}}{D} \quad (2.6)$$

Substitusi dari persamaan , didapatkan:

$$h_l = 32 \frac{L}{D} \frac{\mu \bar{V}}{\rho D} = \left(\frac{64}{Re} \right) \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2} \quad (2.7)$$

Dimana: $h_l = \text{head loss mayor (m)}$

Dan koefisien gesekan (f) untuk aliran laminar adalah:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (2.8)$$

b. Turbulen

Head loss mayor untuk aliran turbulen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (2.9)$$

Dimana f (koefisien gesek) didapat dari hasil eksperimen dan dipengaruhi oleh bilangan *Reynolds* (Re) dan kekasaran permukaan relatif $\left(\frac{e}{D}\right)$.

2.3.2 Head Loss Minor

Head loss minor (rugi minor) adalah besar nilai kehilangan energi aliran fluida di dalam pipa yang disebabkan oleh perubahan luas penampang aliran, *entrance*, *fitting*, dan lain sebagainya. Rugi minor adalah rugi yang disebabkan gangguan

lokal seperti adanya katup, belokan (*elbow*) dan sebagainya. Kerugian ini dapat diketahui dari persamaan:

$$h_{lm} = K \frac{\bar{V}^2}{2g} \quad (2.10)$$

Dimana : h_{lm} = head loss minor (m)

2.4 Intensitas Turbulensi

Intensitas turbulensi merupakan bilangan untuk menentukan fluktuasi dari turbulensi dengan membandingkan *root mean square* dari fluktuasi kecepatan (u') terhadap kecepatan rata-rata (\bar{U}). Intensitas turbulensi dinyatakan dalam bentuk prosentase. Intensitas turbulensi dapat dinotasikan pada persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$IT = \frac{u'}{\bar{U}} \times 100\% \quad (2.11)$$

$$u' = \sqrt{\frac{\sum(\bar{U} - U_n)^2}{n-1}} \quad (2.12)$$

Dimana: IT = Intensitas turbulensi
 U_n = Kecepatan pada waktu tertentu (kecepatan lokal) (m/s)
 \bar{U} = Kecepatan rata-rata (m/s)
 u' = Standar deviasi fluktuasi kecepatan (m/s)

Selain itu, intensitas turbulensi juga dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$IT = 0,16 \times (Re_{Dh})^{-1/8} \quad (2.13)$$

2.5 Grid Independency

Dalam melakukan penelitian secara numerik, untuk mendapatkan hasil simulasi yang optimal setiap meshing harus dilakukan pengecekan yaitu dengan menggunakan metode *grid*

independency. Dengan menggunakan metode *grid independency* maka hasil simulasi akan mendapatkan harga optimal pada konvergensi tertentu dimana tidak melihat dari besar maupun kecil suatu besaran *meshing*.

Grid independency berhenti ketika hasil numerik yang diperoleh sudah tidak terdapat perubahan yang signifikan atau sudah konstan pada setiap jumlah *meshing*.

2.5.1 Model Turbulensi

Pada menu jenis turbulensi, aliran *turbulen* dikenali dengan adanya medan kecepatan yang berfluktuasi. Fluktuasi kecepatan mengakibatkan perubahan berbagai besaran seperti : momentum, energi, konsentrasi partikel. Perubahan mengakibatkan berbagai besaran ikut berfluktuasi. Oleh karena itu persamaan yang berhubungan dapat di rata-ratakan atau dimanipulasi. Pemilihan model turbulensi tergantung dari beberapa pertimbangan, antara lain fisik aliran, tingkat akurasi yang diinginkan.

Salah satu model turbulensi adalah model $k-\omega$. Model ini termasuk model yang menggunakan dua persamaan dalam pemodelannya. Pada model $k-\omega$ ini, terdapat *inverse time scale* dimana ω merupakan *specific dissipation rate* yang berkaitan dengan aliran turbulensi. Karakteristik numerik dari model ini hampir sama dengan model $k-\varepsilon$. Beberapa macam model $k-\omega$ ialah sebagai berikut :

- ***Standard $k-\omega$***

Pemodelan ini menggunakan dua persamaan *transport model* untuk memecahkan k dan ω . Model ini dapat menampilkan transisi suatu aliran. Model ini juga dapat pula menghitung *free shear* dan aliran *compressible*.

- ***SST (shear-stress transport) $k-\omega$***

Model ini merupakan variasi dari model *standard $k-\omega$* yang dikembangkan untuk memadukan formulasi model *standard $k-\omega$* sehingga diharapkan hasil yang didapat menjadi lebih akurat

pada daerah di dekat dinding . Model $k-\omega$ yang memiliki keunggulan dalam aliran *free stream*.

2.5.2 *Boundary Condition*

Berikut ini beberapa *boundary condition* yang di *input* dalam piranti lunak *CFD* antara lain:

- ***Velocity inlet***

Boundary condition ini digunakan untuk mendefinisikan kecepatan aliran serta properti pada inlet aliran seperti *turbulence intensity* dan *hidraulic diameter*.

- ***Pressure Outlet***

Boundary condition ini digunakan pada sisi keluar fluida dan data tekanan pada sisi keluar diketahui atau minimal dapat diperkirakan mendekati sebenarnya. Pada *boundary conditions* ini dimasukkan nilai tekanan statis serta properti lain seperti *turbulence intensity* dan *hidraulic diameter*.

- ***Wall***

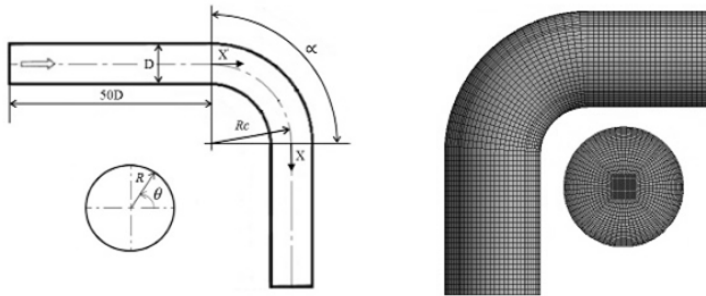
Boundary condition ini digunakan sebagai dinding untuk aliran fluida dalam saluran atau dapat disebut juga sebagai dinding saluran sehingga aliran tidak dapat melewati batas dinding yang sudah ditentukan atau di definisikan. Dalam aliran viskos, kondisi batas tanpa *slip* diberlakukan pada dinding secara *default*. Kekasaran permukaan dinding dapat ditentukan apabila menggunakan model viskos turbulen

2.6 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian telah membahas serta mengamati karakteristik aliran yang melewati suatu *elbow* baik melalui metode eksperimen maupun dengan metode numerik, menggunakan beberapa variasi untuk menurunkan *pressure drop* maupun kerugian energi diantaranya dengan menambah suatu bodi pengganggu, pengarah (*guide vane*), atau *valve*.

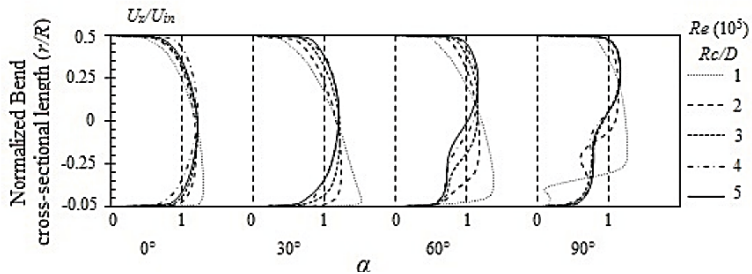
2.6.1 Penelitian Prasun Dutta dkk (2015)

Dutta dkk (2015) melakukan studi eksperimen dan numerik tentang pengaruh *Reynolds Number* dan *Curvature Ratio* pada aliran turbulen dalam pipa melengkung. Pada penelitian ini, aliran turbulen mengalir melalui saluran sirkular dengan pipa melengkung 90° (*elbow* 90°) menggunakan *curvature ratio* (R_c/D = 1 sampai 5) dengan memiliki diameter inner yang sama yaitu 0,01 m serta menggunakan panjang *inlet* $50D$ dan panjang *outlet* $20D$, dimana R_c adalah radius kelengkungan dan D adalah diameter pipa serta menggunakan bilangan Re dari 1×10^5 sampai 10×10^5 .



Gambar 2.7 Geometri pipa melengkung dan permodelan komputasinya (**Dutta dkk., 2015**)

Dari penelitian ini didapatkan bahwa untuk nilai Re yang semakin tinggi, maka pengaruh kelengkungan akan menurun. Kecenderungan separasi aliran akan meningkat untuk lengkungan dengan *curvature ratio* yang rendah serta kemampuan melawan *unsteady* dan *complex flow* akan meningkat untuk lengkungan dengan *curvature ratio* yang tinggi.

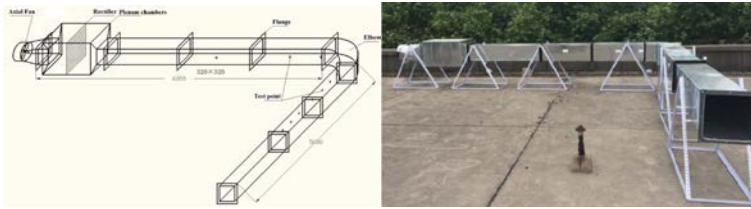


Gambar 2.8 Velocity profile pada sudut 0° , 30° , 60° , dan 90° dengan variasi curvature ratio ($R_c/D = 1 - 5$) (Dutta dkk, 2015)

Gambar 2.8 adalah *velocity profile* untuk variasi 5 jenis *curvature ratio* ($R_c/D = 1 - 5$) dengan menggunakan *Reynolds Number* ($Re = 1 \times 10^5$). Pada outlet elbow ($\alpha = 90^\circ$), terdapat aliran balik sebagai akibat dari *adverse pressure gradient* pada outlet elbow dimana memiliki momentum aliran yang lebih rendah daripada momentum pada *freestream*, yang mana menurunkan kecepatan pada dekat dinding dan *boundary layer thickness*. Selain itu juga didapati bahwa percepatan yang lebih tinggi terjadi pada *curvature ratio* yang rendah.

2.6.2 Penelitian Ran Gao dkk. (2017)

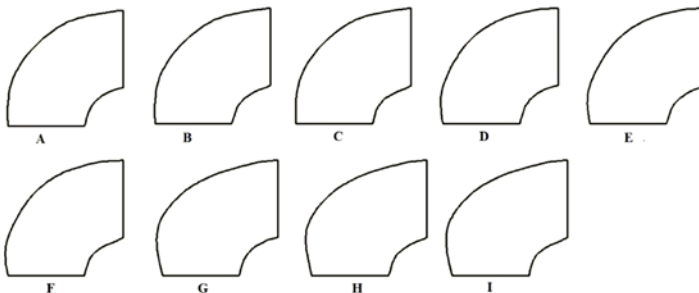
Gao dkk (2017) melakukan penelitian yang dilakukan secara simulasi dan eksperimen pada *square ducting* dan *square elbow* 90° untuk menganalisa efek dari beberapa desain elbow 90° terhadap *drag* yang terjadi. Penelitian secara eksperimen menggunakan *fan*, *rectangular duct*, *square elbow* 90° , dan lainnya. Seluruh instalasi ditopang oleh rangka baja sudut sekitar 0,9 m dari tanah. Ukuran dari *rectangular duct* adalah 320×320 , dan jari-jari kelengkungan untuk *square elbow* adalah 1,5, yang umum untuk saluran ventilasi. *Fan* yang digunakan adalah *fan* aksial dengan aliran udara sekitar $3600 \text{ m}^3/\text{jam}$ pada beban penuh.



Gambar 2.9 Skema Model Eksperimen VAC Tubes
(Gao dkk, 2017)

Untuk penelitian secara numerik menggunakan lebih dari sepuluh model turbulensi untuk memprediksi karakteristik distribusi udara. Model-model ini termasuk $k-\epsilon$, *shear stress transport* $k-\omega$, *Renault stress based on linear pressure strain*, dll. *Reynolds stress model* dipilih untuk simulasi numerik berdasarkan analisis dan perbandingan. Kecepatan *inlet* yang digunakan, yaitu $V = 3, 4, 5, 6, 7$, dan 8 m/s .

Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa rasio pengurangan *drag* pada desain *elbow* 90° setelah mengoptimalkan bentuk *outer elbow* adalah $6,53\%$, sedangkan setelah mengoptimalkan bentuk *inner elbow* didapatkan rasio pengurangan *drag* sebesar $5,95\%$. Sebaliknya, pengurangan *drag* dari siku menjadi semakin jelas setelah mengoptimalkan busur dalam dan luar. Skema optimal setelah mengoptimalkan sisi *inner* dan *outer*, mengurangi *drag* sebesar $9\% - 10\%$. Hasil ini sesuai dengan pengurangan *drag* yang disimulasikan secara numerik.



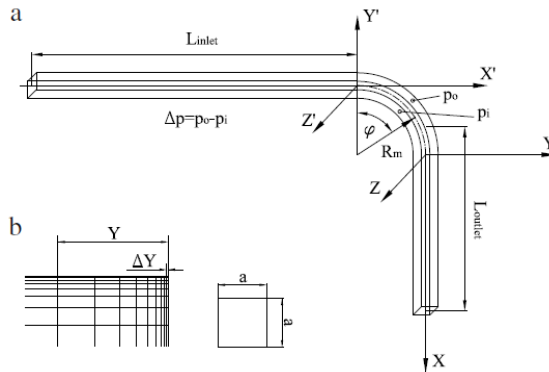
Gambar 2.10 Skema Model Optimasi *Elbow* (Gao dkk, 2017)

Tabel 2.1 Perbandingan Pengurangan *Drag* setelah Optimasi
(Gao dkk, 2017)

	Airflow Velocity	Total Pressure Loss	Drag Coefficient	Rasio peningkatan / penurunan dibandingkan dengan <i>elbow</i> standar
Standar <i>elbow</i>	6	8.14577	0.236252	-
A	6	8.0096	0.230388	↓2.48%
B	6	7.9102	0.226107	↓4.29%
C	6	8.1203	0.235155	↓0.46%
D	6	7.6404	0.214488	↓9.21%
E	6	7.9321	0.22705	↓3.40%
F	6	7.8617	0.224018	↓5.18%
G	6	8.0165	0.230685	↓2.35%
H	6	8.0344	0.231456	↓2.03%
I	6	7.8921	0.225327	↓4.62%

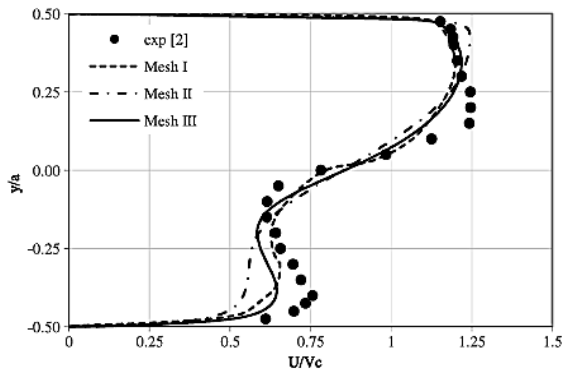
2.6.3 Penelitian K. Rup dan P. Sarna (2011)

Rup dan Sarna (2011) melakukan penelitian yang dilakukan secara simulasi dan eksperimen untuk menganalisa karakteristik aliran melalui *rectangular duct*. Simulasi ini menggunakan model turbulen RSM (*Reynolds Stress Model*) dilakukan pada $Re = 40000$ yang memiliki ukuran geometri $a \times a = 80 \times 80$ mm, $Dh = 80$ mm dan $L_{inlet} = L_{outlet} = 20Dh = 1600$ mm seperti yang terlihat pada gambar 2.12. Variasi yang dilakukan pada kerapatan *meshing*, dengan jumlah mesh $V_k = 553\ 052$, $V_k = 1766\ 079$, and $V_k = 1034\ 775$



Gambar 2.11 a) Posisi pengambilan data pada *domain* uji b) Mesh pada *Volume* (Rup dan Sarna, 2011)

Hasil yang didapatkan yaitu membandingkan hasil eksperimen dan simulasi profil kecepatan pada jarak tertentu dan koefisien tekanan pada aliran sepanjang *elbow*.

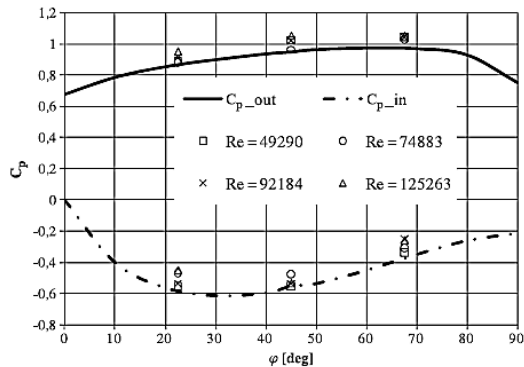


Gambar 2.12 Perbandingan profil kecepatan didapat dari simulasi dan eksperimen untuk $x/D_h = 1.0$ dan $z/D_h = 0.0$ (Rup dan Sarna, 2011)

Terdapat perbedaan yang jelas terlihat pada gambar 2.12 yang menunjukkan profil kecepatan pada lokasi $x/D_h = 1.0$ dan $z/D_h = 0.0$ hanya satu simulasi yang mendekati hasil eksperimen

yaitu pada variasi *mesh* III ($V_k = 1034\ 775$). Terjadi perbedaan kecepatan pada sisi *inner* dan sisi *outer* pada saluran setelah melewati *elbow*, hal itu dikarenakan adanya defisit momentum aliran pada sisi *inner* maupun *outer*, namun defisit momentum pada sisi *inner* jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sisi *outer*.

Gambar 2.13 memberikan informasi tentang distribusi koefisien tekanan pada *elbow*, dapat diamati bahwa koefisien tekanan maksimum di dinding *elbow* terjadi pada *cross-section* yang terletak pada sudut $\phi = 45^\circ$ ($Z = 0.00$). Perbedaan tekanan ini menjadi parameter untuk menentukan besar koefisien *loss* pada *elbow* tersebut.



Gambar 2.13 Perbandingan koefisien tekanan pada kedua sisi *inner* dan *outer wall elbow* hasil simulasi dan eksperimen (Rup dan Sarna, 2011)

2.6.4 Penelitian Sutardi dkk. (2010)

Sutardi dkk (2010) melakukan penelitian yang dilakukan secara eksperimen untuk menganalisa karakteristik aliran melalui *square duct*. Simulasi ini dilakukan pada $Re_{Dh} = 2.1 \times 10^4$, 8.4×10^4 dan 12×10^4 dengan spesifikasi *ducting* $a = 50$ mm, $b = 100$ mm, $L_1 = 100$ mm, $L_2 = 200$ mm, $L_i = 477$ mm, $L_e = 555$ mm, D_h (diameter hidrolis) = 66.7 mm, $R_i = 100$ mm dan $R_o = 150$ mm. Variasi yang dilakukan adalah tanpa penambahan *guide vane*,

penambahan satu *guide vane*, penambahan dua *guide vane* dan penambahan tiga *guide vane*.

Dari eksperimen diketahui bahwa penambahan satu, dua atau tiga *guide vane* secara signifikan mengurangi perbedaan tekanan antara *inner* dan *outer wall* pada *elbow*. Fenomena ini menunjukkan bahwa tekanan pada sisi *outer wall* lebih besar dari pada sisi *inner wall*, sehingga partikel fluida bergerak menuju sisi *inner wall*. Walaupun penambahan *guide vane* dapat menekan terbentuknya *secondary flow*, hal ini justru meningkatkan *friction drag*.

Tabel 2.2 Efek pemberian *guide vane* pada *pressure drop*
(Sutardi dkk, 2010)

Re_{Dh}	Number of Guide Vanes	Δp (N/m ²)	Δp (%)
21000	0	4.01	-
	1	2.67	-33.42%
	2	2.73	-31.92%
	3	2.71	-32.42%
84000	0	36.07	-
	1	37.40	3.69%
	2	51.12	41.72%
	3	74.59	106.79%
120000	0	79.11	-
	1	88.66	12.07%
	2	118.22	49.44%
	3	-	-

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas metode penelitian yang digunakan. Metode penelitian yang digunakan yaitu secara numerik tiga dimensi dengan menggunakan *software* CFD komersial untuk menganalisis karakteristik aliran fluida dalam *square duct* dan *square elbow* 90^0 dengan $R/D_h = 1,5$ dan *single guide vane*, dimana pada daerah *upstream* diletakkan *square disturbance body* pada $g/D_h = 0,5$ dengan variasi $l/D_h = 0,1; 0,5$ dan $0,9$ pada kecepatan inlet $2, 6$ dan 12 m/s atau $Re_{Dh} \approx 1,5 \times 10^4; 4,7 \times 10^4$ dan $9,5 \times 10^4$.

Berikut metodologi pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari serta mempelajari beberapa literatur yang terkait dengan tema penelitian, seperti mengumpulkan informasi berupa artikel ilmiah, jurnal, *text book*, serta hasil penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya.

2. Simulasi

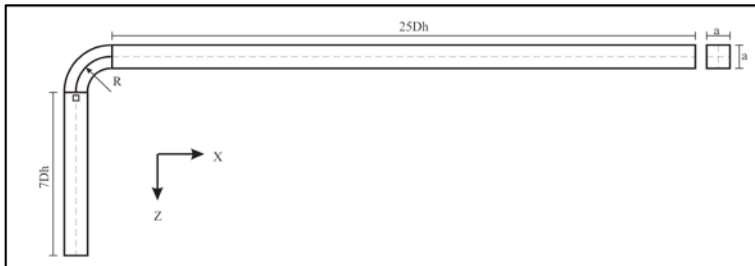
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui adanya fenomena aliran tiga dimensi (*3D*) sesudah melewati *square elbow* 90^0 dengan *single guide vane* dan penambahan *square disturbance body* pada $g/D_h = 0,5$ dengan variasi $l/D_h = 0,1; 0,5$ dan $0,9$ pada kecepatan inlet $2, 6$ dan 12 m/s atau $Re_{Dh} \approx 1,5 \times 10^4; 4,7 \times 10^4$ dan $9,5 \times 10^4$. Pada tahap ini langkah-langkah yang dilakukan yaitu *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*.

3. Penyusunan Laporan

Laporan ini tersusun atas pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, analisis dan pembahasan, serta penutup.

3.1 Geometri *Ducting*

Penelitian secara numerik ini memiliki bentuk *ducting* berpenampang persegi (*square*), terbagi atas tiga bagian besar yang terhubung yaitu bagian *upstream duct*, *elbow 90°* dan *downstream duct*. Pada bagian *upstream duct* terpasang *inlet disturbance body* berbentuk balok persegi panjang.

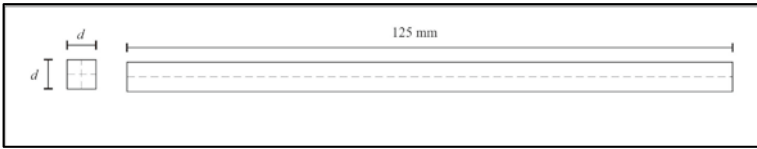


Gambar 3.1 Geometri *straight duct* , *square elbow 90°* , serta bodi pengganggu

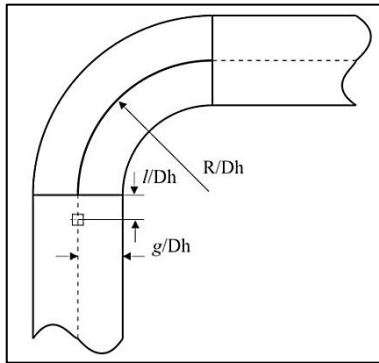
Spesifikasi dari geometri ini adalah sebagai berikut:

- Bentuk Penampang : *Square*
- Sisi *square duct* ($a \times a$) : 125 x 125 mm
- *Hydraulic diameter* (D_h) : 125 mm
- Panjang *upstream straight channel* : 7 D_h
- Panjang *downstream straight channel* : 25 D_h
- Jari jari lengkung *elbow 90°* (R/D_h) : 1,5
- Ketebalan *Guide Vane* : 3 mm
- Dimensi *square disturbance body* (d) : 6 mm
- Gap (g/D_h) : 0,5
- Jarak longitudinal *SDB* (l/D_h) : 0,1; 0,5 & 0,9

Gambar detail geometri dan posisi *square disturbance body* dapat diilustrasikan pada gambar 3.2 dan 3.3.



Gambar 3.2 Geometri *square disturbance body*



Gambar 3.3 Posisi *square disturbance body*

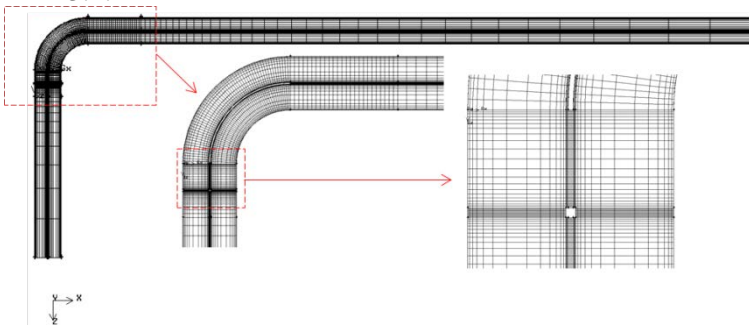
3.2 Metode Numerik

Penelitian ini menggunakan piranti lunak komputasi fluida (*CFD*) komersial untuk melakukan pendekatan numerik dan membuat model geometri, serta melakukan diskritisasi (*meshing*) pada model. Secara umum, urutan kerja yang dilakukan pada penelitian numerik dibagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap *pre-processing*, *processing* dan dilanjutkan dengan tahap *post-processing*.

3.2.1 Tahap *Pre-Processing*

- a) Pembuatan model *3D* berupa *ducting* mengacu pada geometri gambar 3.1. Dimana model *ducting* dibuat dengan variasi jarak *square disturbance body*. Pembuatan geometri dilakukan di *gambit* dengan membuat beberapa koordinat serta *edge* yang tersedia.

- b) Pembuatan *meshing* dilakukan untuk setiap variasi diameter bodi pengganggu. *Meshing* dilakukan dengan membagi volume menjadi 4 bagian, yaitu *upstream*, *elbow 90°*, *downstream 2Dh* dan *downstream*. *Meshing* volume yang digunakan adalah tipe *hexahedral-map*. Metode *meshing* yang digunakan adalah sistem *grading* dengan distribusi *mesh* yang semakin rapat pada sisi dekat dinding serta rapat pada sisi bodi pengganggu. Contoh hasil dari *meshing* pada posisi $l/Dh = 0,5$ diilustrasikan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Gambar detail *meshing square ducting (top)*

3.2.2 Tahap *Processing*

a) *Grid*

Langkah pertama yang dilakukan pada *Fluent* adalah *read* untuk file hasil *meshing* berbentuk *.msh*. Kemudian *grid checking* untuk melihat apakah grid pada *meshing* tersebut sudah bagus untuk dilakukan *post-processing* apabila tidak sesuai maka akan muncul tulisan *error*. Setelah itu skala ditentukan dalam satuan milimeter (*mm*).

b) *Models*

Pada langkah ini dilakukan pemodelan karakteristik aliran, meliputi pemilihan model *solver pressure based, steady*, model turbulen *k- ω standart*.

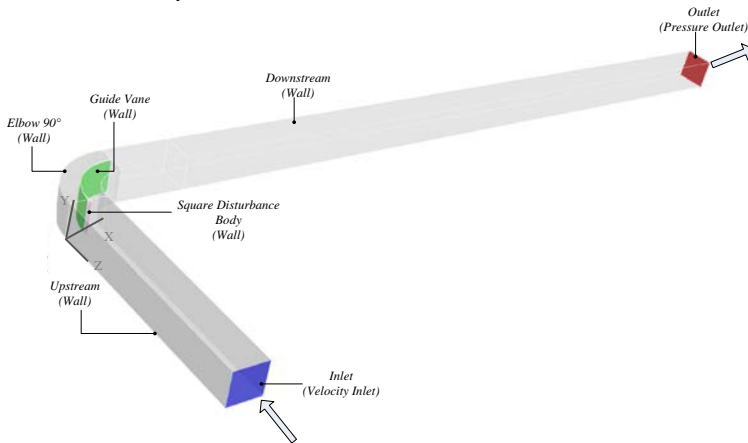
c) *Materials*

Data *properties* material fluida yaitu udara pada temperatur ruangan $T = 28^{\circ}\text{C}$ dengan *density* (ρ) $1,1698 \text{ kg/m}^3$ dan *viskositas absolute* (μ) $1,84 \times 10^{-5} \text{ N.s/m}^2$.

d) *Operating conditions*

Menentukan kondisi daerah operasi dan lingkungan di sekitar benda uji. *Operating conditions* menggunakan *operating pressure* sebesar $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$ (*pascal*).

e) *Boundary conditions*



Gambar 3.5 Domain Pemodelan *Square Duct*

Menentukan parameter-parameter dan batasan yang terjadi pada aliran yang melewati benda uji pada *inlet*, *outlet* serta *wall*. Daerah *inlet* didefinisikan sebagai *velocity inlet* dalam (m/s) dimana *velocity* yang dimasukkan yaitu 2, 6, dan 12 m/s ($\text{Re}_{\text{Dh}} \approx 1,5 \times 10^4$, $4,7 \times 10^4$ dan $9,5 \times 10^4$) serta *turbulence intensity* yang sudah dihitung sebelumnya yaitu 4,78 %; 4,16 %; dan 3,82 % serta *hydraulic diameter* sebesar 125 mm, kondisi batas *upstream*, *downstream* 2Dh , *downstream*, *guide vane*, *square disturbance body*, dan *elbow* 90^0 didefinisikan sebagai *wall* dengan faktor kekasaran dibuat *default* dan *no slip*, sedangkan pada

daerah *outlet* didefinisikan sebagai *pressure outlet*. Domain pemodelan digambarkan pada gambar 3.5.

f) *Solution*

Solution pada penelitian ini akan menggunakan metode *SIMPLE* serta *discretization second order* untuk *pressure*, serta *second-order upwind* untuk momentum, *turbulence kinetic energy* dan *turbulence dissipation rate*.

g) *Initialize*

Merupakan langkah awal untuk proses iterasi untuk mencapai *convergen*, langkah ini dapat dihitung dari *inlet*, *outlet*, atau daerah lainnya. Dalam kasus ini langkah awal dimulai dari sisi *inlet*.

h) *Monitor residual*

Pada proses iterasi berlangsung harga kriteria konvergensi ditentukan agar proses iterasi tidak berlangsung terlalu lama. Kriteria konvergensi ditetapkan sebesar 10^{-3} untuk *continuity*, *x-velocity*, *y-velocity*, *z-velocity*, *k* dan ω . Proses iterasi dinyatakan telah *convergen* setelah residualnya mencapai nilai lebih kecil dari nilai yang telah ditentukan.

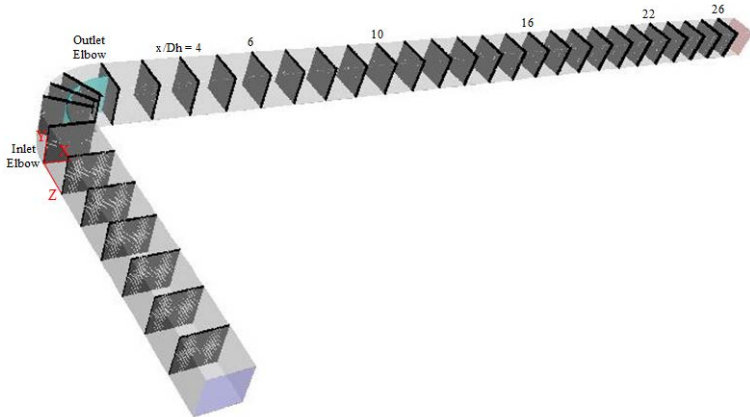
i) *Iterate*

Langkah selanjutnya setelah penetapan harga *monitor residual* adalah *iterate*, yang merupakan langkah perhitungan pada piranti lunak simulasi *CFD* komersial. *Iterate* akan secara otomatis berhenti apabila semua nilai residualnya mencapai nilai lebih kecil dari nilai yang telah ditentukan dapat dikatakan iterasi sudah *convergen*. Apabila tidak tercapai kriteria *convergen* maka dilakukan tahapan untuk memperbaiki pembuatan *meshing* pada piranti lunak *gambit*.

3.2.3 Tahap *Post-processing*

Merupakan penampilan hasil setelah dilakukan iterasi. Hasil tersebut berupa data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif berupa distribusi nilai *cp* dan *pressure drop*. Data

kualitatif berupa penampilan *velocity profile* pada setiap *cross section* dan penampilan kontur kecepatan. Posisi pengambilan data diilustrasikan pada gambar 3.6 sebagai berikut:



Gambar 3.6 Posisi Pengambilan Data

Gambar 3.6 mengilustrasikan posisi pengambilan data mulai dari profil kecepatan serta kontur kecepatan pada *upstream* hingga *downstream*. Posisi pengambilan data dilakukan pada *inlet elbow*, *inlet elbow*, $x/Dh = 4$, $x/Dh = 6$, $x/Dh = 10$, $x/Dh = 16$, $x/Dh = 22$, dan $x/Dh = 26$.

3.3 Langkah-Langkah Penelitian

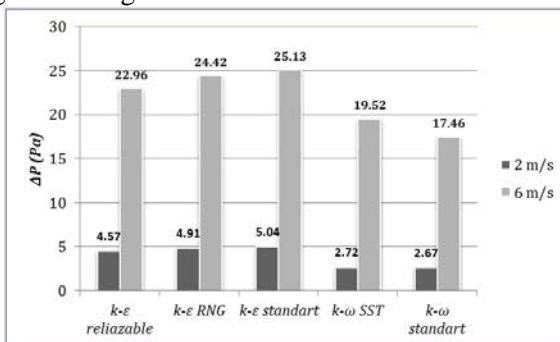
Langkah-langkah penelitian numerik pada *square duct* ini adalah sebagai berikut:

- Melakukan pembuatan geometri *ducting*.
- Memodelkan *ducting* dengan menggunakan *gambit (pre-processing)*.
- Membuat *meshing* dengan metode pembuatan *meshing* berupa *grading mesh*. Menggunakan *mesh* tipe *hexhedral map*.
- Menentukan *boundary condition* pada model uji, serta batasan yang digunakan dalam penyelesaian simulasi seperti *inlet* , *outlet* , dan *wall* serta beberapa interior tambahan.

- Menentukan batas operasi pada *fluent* dalam simulasi model uji , meliputi : *models, materials, boundary condition, solution, initialize, monitor residual, dan iterate (post-processing)*.
- Melakukan iterasi hingga mencapai konvergen. Bila simulasi belum konvergen, maka pembuatan *mesh* pada model uji diulangi lagi.
- Setelah didapatkan hasil konvergen maka selanjutnya dilakukan analisis *grid independency*. Analisis *grid independency* divariasikan sebanyak 5 variasi jumlah *mesh* dengan model turbulensi *k- ω standart*.
- Melakukan simulasi pada model uji dengan variasi yang ditentukan yaitu : variasi jarak ($l/Dh = 0,1; 0,5$ dan $0,9$).
- Melakukan *post-processing* tiap variasi.
- Analisis hasil dan penarikan kesimpulan.

3.4 Analisis Grid Independency

Dari beberapa hasil simulasi dengan menggunakan perangkat lunak *CFD* komersial, telah dilakukan variasi *mesh* pada *square ducting*. Sebelum itu dilakukan simulasi dengan beberapa model turbulensi untuk memilih model turbulensi yang paling mendekati dengan kondisi di lapangan. Dan hasilnya didapat grafik sebagai berikut:

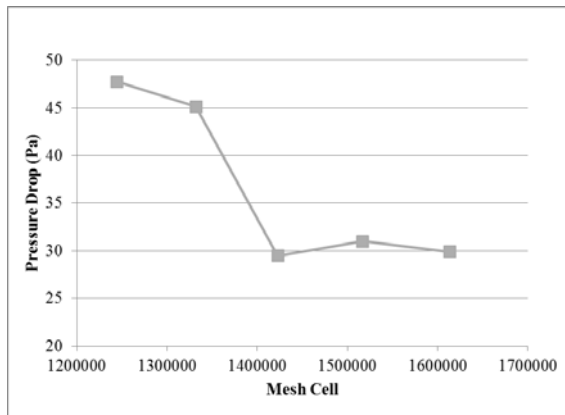


Gambar 3.7 Perbandingan beberapa model turbulensi

Variasi *mesh* dilakukan pada *square duct* dengan *guide vane* tanpa diberi *square disturbance body*. Variasi *mesh* dibuat sebanyak lima buah dengan kerapatan *mesh* yang berbeda-beda. Hasil *grid independency* dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 *Grid independency* ditinjau dari *Pressure drop* pada *ducting*

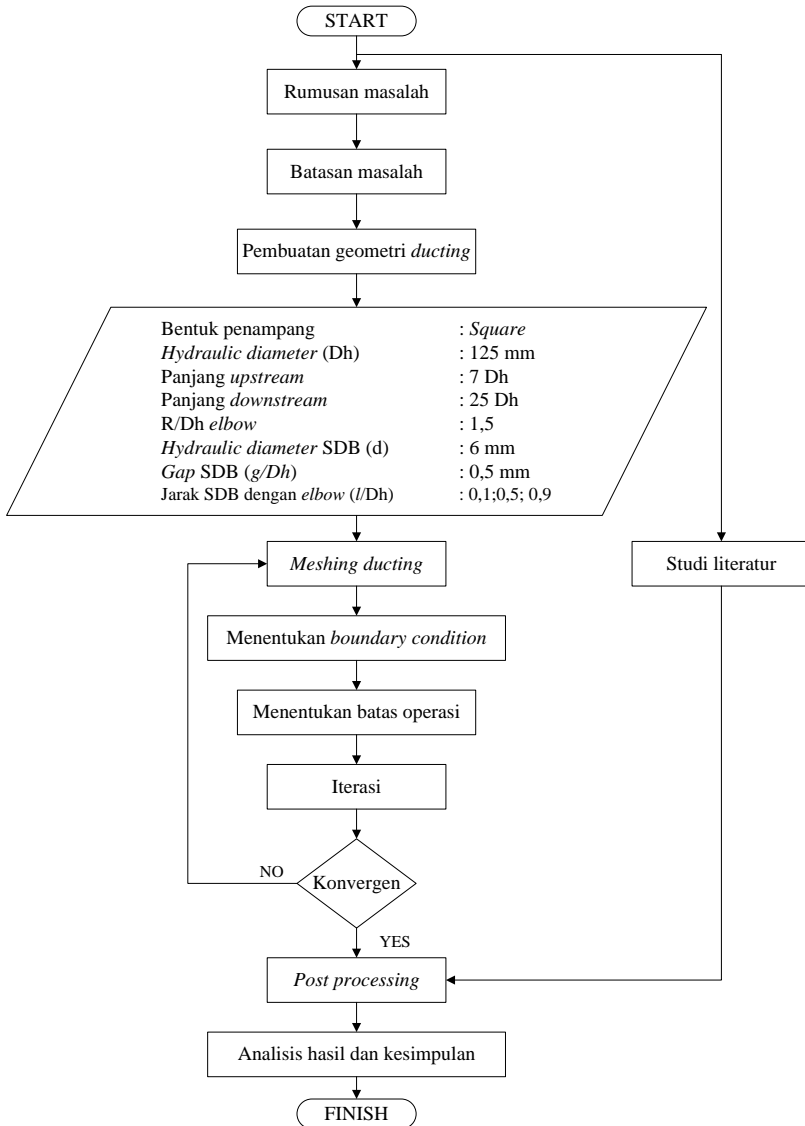
Variasi <i>mesh</i>	Jumlah <i>mesh</i> (cells)	y^+ max	<i>Pressure drop</i> (Pa)
<i>Mesh A</i>	1244100	20.890	47.767
<i>Mesh B</i>	1332000	20.802	45.138
<i>Mesh C</i>	1422900	21.954	29.480
<i>Mesh D</i>	1516800	21.934	30.999
<i>Mesh E</i>	1613700	21.841	29.899



Gambar 3.8 Grafik *Pressure Drop* vs *Mesh Cells*

Dari proses *grid independency* dibandingkan data *pressure drop* dari masing-masing variasi *mesh*, dimana *pressure drop* mendekati konstan pada variasi *mesh* C hingga *mesh* E. Dengan demikian untuk menganalisis studi numerik ini digunakan variasi *meshing* model C karena memiliki *mesh cells* lebih kecil daripada *mesh* D dan E.

3.5 Flowchart Penelitian



Gambar 3.9 Flowchart Penelitian

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini ditampilkan hasil studi numerik secara kuantitatif dan kualitatif. Data secara kuantitatif ditampilkan berupa grafik *velocity profile*, grafik *pressure coefficient elbow* 90^0 , dan data *pressure drop*. Data secara kualitatif ditampilkan berupa visualisasi kontur kecepatan sepanjang *ducting*, vektor kecepatan pada *cross section* tertentu serta kontur *pathline* untuk menunjukkan *secondary flow*.

Analisa dan pembahasan dilakukan pada *ducting single guide vane* tanpa SDB dan *ducting single guide vane* dengan variasi penempatan SDB ($l/D_h = 0,1; 0,5; \text{ dan } 0,9$) dengan *Reynolds number* sebesar $1,5 \times 10^4$, $4,7 \times 10^4$ dan $9,5 \times 10^4$ pada setiap variasi *ducting*. Hasil yang dibahas pada bab ini diambil pada kecepatan 2 m/s atau pada $Re = 1,5 \times 10^4$.

4.1 Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Sepanjang Ducting dengan Kontur Kecepatan

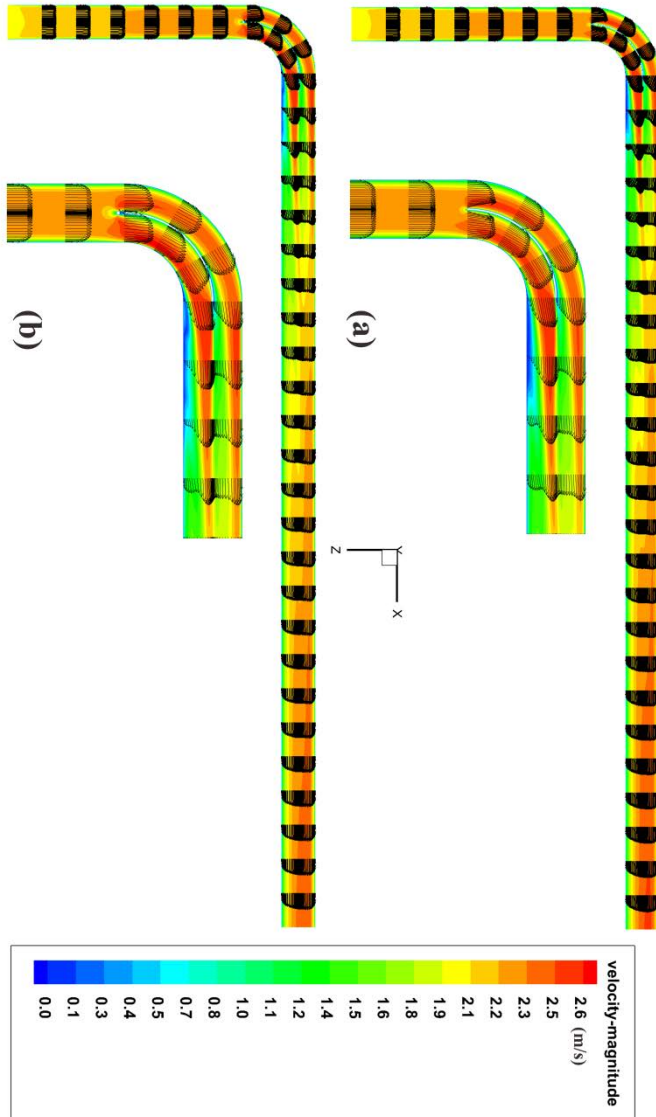
Data yang ditampilkan berupa profil kecepatan sepanjang *ducting* dengan SDB maupun tanpa SDB pada *cross section* tertentu serta visualisasi aliran fluida berupa kontur kecepatan yang diambil pada posisi $y/D_h = 0,5$.

4.1.1 Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Sepanjang Ducting dengan Kontur Kecepatan (tanpa SDB dan dengan SDB $l/D_h = 0,1$)

Profil kecepatan fluida pada *ducting* dipengaruhi oleh radius kelengkungan *elbow* 90^0 serta variasi penempatan posisi SDB, kedua faktor tersebut membuat profil kecepatan pada setiap *cross section*nya berubah kemudian akan diamati bagaimana perkembangan aliran di dalam *ducting* tersebut. Distribusi kecepatan ditampilkan dalam bentuk kecepatan tak berdimensi (u/U_{ref}) dimana u adalah kecepatan lokal pada satu titik pada suatu *section* dan U_{ref} merupakan kecepatan udara masuk pada *ducting*. Berikut perkembangan profil kecepatan serta kontur

kecepatan yang mewakili besar kecepatan sepanjang aliran, pada bidang horizontal pada setiap *cross section* ditampilkan pada gambar 4.1 dan 4.2.

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa aliran udara saat memasuki *ducting* mulai berkembang sampai dengan $7D_h$ pada bagian *upstream duct* tanpa SDB dan profil aliran mulai terpecah ketika aliran melewati *guide vane*. Sedangkan *ducting* yang diberikan SDB pada bagian *upstream duct* aliran berkembang sampai dengan $6D_h$, kemudian profil aliran mulai terpecah ketika aliran melewati SDB. Pada *ducting* tanpa SDB aliran udara pada bagian *elbow* 90° terlihat aliran memiliki kecepatan tertinggi pada bagian *inner elbow* dan *outer guide vane* sedangkan pada bagian *outer elbow* dan *inner guide vane* lebih rendah kecepatannya. Hal ini terjadi karena efek dari kelengkungan *elbow* 90° yang menyebabkan terjadinya separasi aliran menuju ke arah pusat lengkungan *elbow*. Pada bagian *downstream duct* pada posisi $x/D_h = 3$ terlihat aliran mengalami defisit pada sisi *inner wall*. Hal ini terjadi karena adanya *secondary flow* yang terjadi sejak aliran melewati *outlet elbow* sehingga aliran utama terhambat dengan aliran sekunder tersebut. Pada *ducting* yang ditambahkan SDB pada bagian *upstream duct* dengan $l/D_h = 0,1$ dan $g/D_h = 0,5$, terlihat kecepatan tertinggi hanya terdapat pada sisi *inner elbow*. Hal ini terjadi karena efek kelengkungan dari *elbow* 90° dan SDB. Kecepatan di sekitar *outer guide vane* tidak lagi tinggi. Hal itu disebabkan adanya SDB yang membuat *boundary layer* di sekitar *guide vane* terganggu. Dari kontur kecepatan tanpa dan dengan SDB terlihat terjadi perbedaan yang cukup signifikan yaitu bila dilihat dari *range* kecepatan yang disajikan dalam skala warna. Pada *ducting* tanpa SDB terlihat bahwa hasil kontur menunjukkan pada kecepatan yang kuat daerah *downstream* sisi *outer wall*, yaitu warna merah yang dominan pada daerah *outer*. Sedangkan dengan adanya SDB hasil kontur menunjukkan pada daerah *downstream* kecepatan relatif merata antara sisi *inner* dan sisi *outer*, yaitu ditunjukkan dengan besar kecepatan yang berwarna kuning.

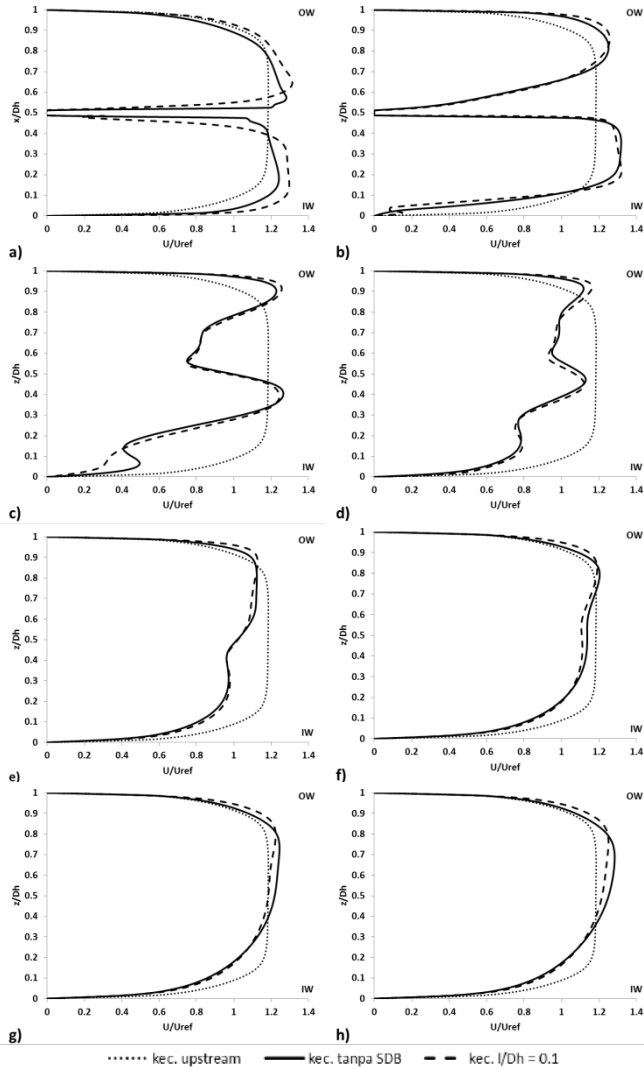


Gambar 4.1 Perbandingan profil kecepatan dan kontur kecepatan aliran *ducting* (a) tanpa SDB dan (b) dengan SDB pada $l/D_h = 0,1$

Pada hasil dari kontur kecepatan tanpa dan dengan SDB terlihat terjadi perbedaan yang cukup signifikan yaitu bila dilihat dari *range* kecepatan yang disajikan dalam skala warna. Pada *ducting* tanpa SDB terlihat bahwa hasil kontur menunjukkan pada kecepatan yang kuat daerah *downstream* sisi *outer wall*, yaitu warna merah yang dominan pada daerah *outer*. Sedangkan dengan adanya SDB hasil kontur menunjukkan pada daerah *downstream* kecepatan relatif merata antara sisi *inner* dan sisi *outer*, yaitu ditunjukkan dengan besar kecepatan yang berwarna kuning.

Untuk memperjelas profil kecepatan pada *ducting* yang diberi penambahan SDB maupun tanpa SDB, dilakukan pengambilan data dalam bentuk grafik pada gambar 4.2. Pada absis dari grafik diambil pada posisi $z/Dh = 0$ (*outer wall*) sampai $z/Dh = 1$ (*inner wall*). Ordinat ditunjukkan dengan nilai u/U_{ref} , dimana u adalah kecepatan pada setiap bagian atau titik yang diambil datanya dan U_{ref} adalah nilai kecepatan pada *inlet duct*. Untuk melihat proses *recovery* aliran maka diperlukan *section* acuan yaitu pada *section upstream* $z/Dh = 1$. Aliran pada *inlet elbow* yang melewati *ducting* tanpa dan dengan SDB mengalami perubahan distribusi profil kecepatan yaitu kecepatan pada posisi *inner wall* dan *outer guide vane* lebih besar dari sisi *outer wall* dan *inner guide vane*. Bentuk profil ini berubah pada *outlet elbow*, seperti yang terlihat pada gambar 4.2 (a dan b), yaitu aliran akan semakin mengarah pada sisi *outer wall* dan *inner guide vane*. Perbedaan yang terlihat antara *ducting* tanpa dan dengan SDB, yaitu pada *outlet elbow* didapat hasil dengan penambahan SDB aliran memiliki kecepatan yg lebih tinggi daripada *ducting* tanpa SDB.

Defisit aliran mulai berpindah dari sisi *inner wall* menuju ke arah tengah hal ini diilustrasikan pada gambar 4.2 (e dan f). Hingga akhirnya pada $x/Dh = 26$ yang ditunjukkan pada gambar 4.2 (h) aliran sudah mulai mendekati bentuk seperti *section upstream* $z/Dh = 1$.



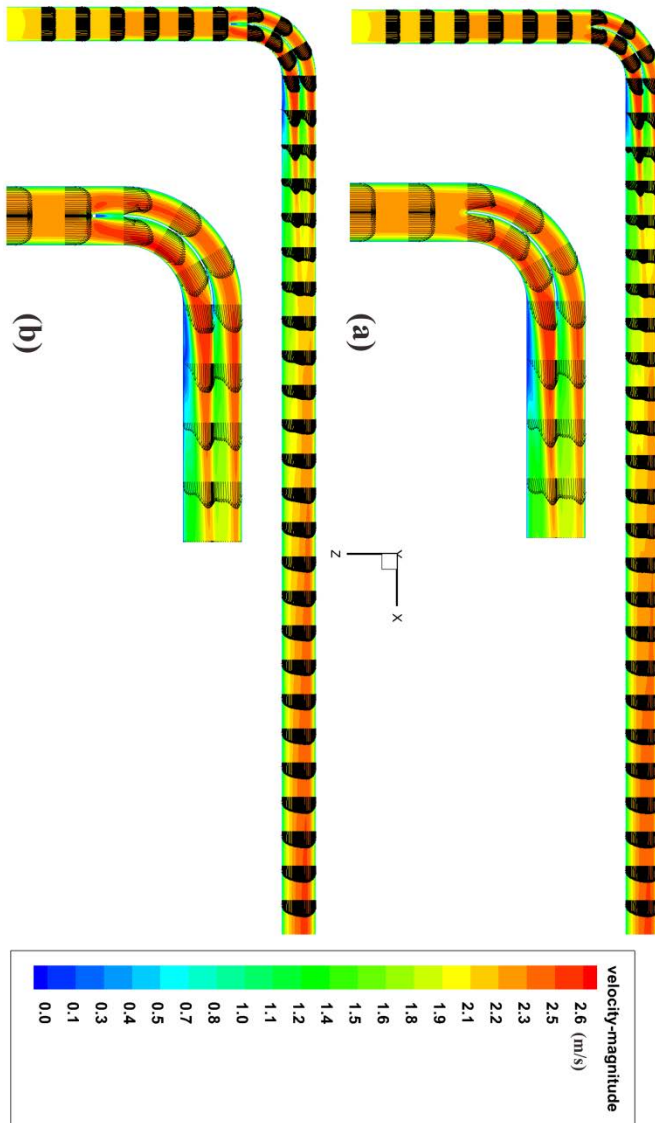
Gambar 4.2. Profil kecepatan *ducting* tanpa dan dengan SDB pada $l/Dh = 0,1$

(a) *Inlet Elbow*, (b) *Outlet Elbow*, (c) $x/Dh = 4$, (d) $x/Dh = 6$,
(e) $x/Dh = 10$, (f) $x/Dh = 16$, (g) $x/Dh = 22$, (h) $x/Dh = 26$

4.1.2 Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Sepanjang *Ducting* dengan Kontur Kecepatan (tanpa SDB dan dengan SDB $l/D_h = 0,5$)

Distribusi kecepatan ditampilkan dalam bentuk kecepatan tak berdimensi (u/U_{ref}) dimana u adalah kecepatan lokal pada satu titik pada suatu *section* dan U_{ref} merupakan kecepatan udara masuk pada *ducting*. Berikut perkembangan profil kecepatan serta kontur kecepatan yang mewakili besar kecepatan sepanjang aliran, pada bidang horizontal pada setiap *cross section* ditampilkan pada gambar 4.3 dan 4.4.

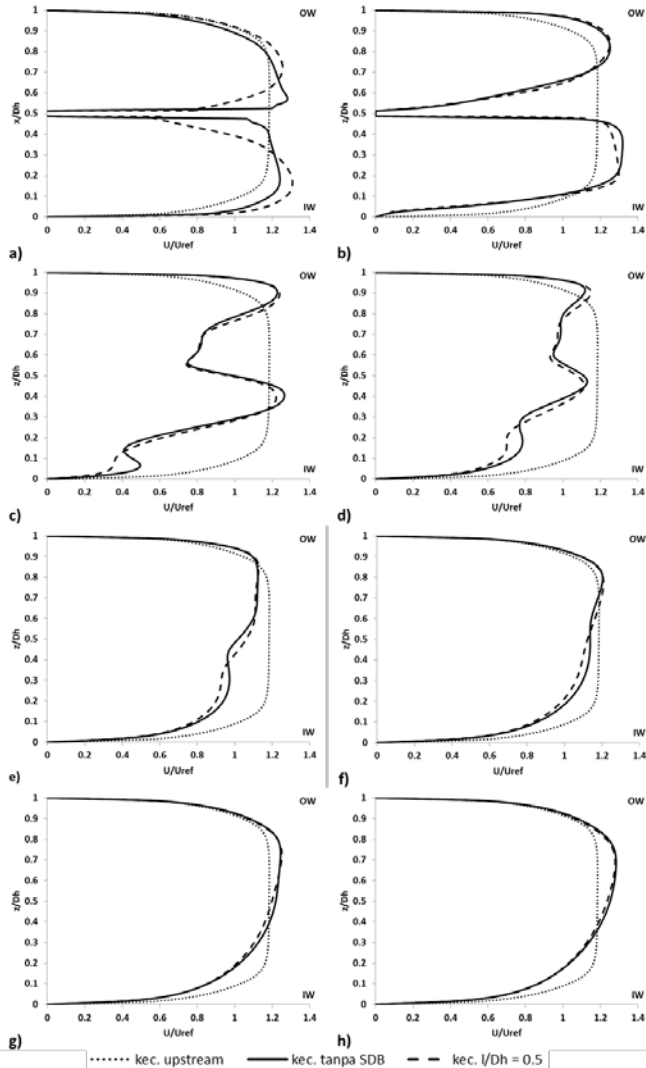
Pada gambar 4.3 terlihat bahwa aliran udara saat memasuki *ducting* mulai berkembang sampai dengan $7D_h$ pada bagian *upstream duct* tanpa SDB dan profil aliran mulai terpecah ketika aliran melewati *guide vane*. Sedangkan *ducting* yang diberikan SDB pada bagian *upstream duct* aliran berkembang sampai dengan $6D_h$, kemudian profil aliran mulai terpecah ketika aliran melewati SDB. Pada *ducting* tanpa SDB aliran udara pada bagian *elbow* 90° terlihat aliran memiliki kecepatan tertinggi pada bagian *inner elbow* dan *outer guide vane* sedangkan pada bagian *outer elbow* dan *inner guide vane* lebih rendah kecepatannya. Hal ini terjadi karena efek dari kelengkungan *elbow* 90° yang menyebabkan terjadinya separasi aliran menuju ke arah pusat lengkungan *elbow*. Pada bagian *downstream duct* pada posisi $x/D_h = 3$ terlihat aliran mengalami defisit pada sisi *inner wall*. Hal ini terjadi karena adanya *secondary flow* yang terjadi sejak aliran melewati *outlet elbow* sehingga aliran utama terhambat dengan aliran sekunder tersebut. Pada *ducting* yang ditambahkan SDB pada bagian *upstream duct* dengan $l/D_h = 0,5$ dan $g/D_h = 0,5$, terlihat kecepatan tertinggi hanya terdapat pada sisi *inner elbow*. Hal ini terjadi karena efek kelengkungan dari *elbow* 90° dan SDB. Kecepatan di sekitar *outer guide vane* tidak lagi tinggi. Hal itu disebabkan adanya SDB yang membuat *boundary layer* di sekitar *guide vane* terganggu. Sehingga aliran memiliki momentum yang cukup kuat untuk melawan *shear stress* dari *guide vane*.



Gambar 4.3 Perbandingan profil kecepatan dan kontur kecepatan aliran *ducting* (a) tanpa SDB dan (b) dengan SDB pada $l/D_h = 0,5$

Hasil dari kontur kecepatan tanpa dan dengan SDB pada $l/Dh = 0,5$ hampir sama dengan variasi jarak $l/Dh = 0,1$, yaitu terjadi perbedaan yang cukup signifikan bila dilihat dari *range* kecepatan yang disajikan dalam skala warna. Pada *ducting* tanpa SDB terlihat bahwa hasil kontur menunjukkan pada kecepatan yang kuat daerah *downstream* sisi *outer wall*, yaitu warna merah yang dominan pada daerah *outer*. Sedangkan dengan adanya SDB hasil kontur menunjukkan pada daerah *elbow* kontur kecepatan yang kuat hanya terjadi pada sisi *inner*.

Profil kecepatan pada *ducting* yang diberi penambahan SDB maupun tanpa SDB, dilakukan pengambilan data dalam bentuk grafik pada gambar 4.4. Absis pada grafik diambil pada posisi $z/Dh = 0$ (*outer wall*) sampai $z/Dh = 1$ (*inner wall*). Ordinat menunjukkan nilai u/U_{ref} , dimana u adalah kecepatan pada setiap bagian atau titik yang diambil datanya dan U_{ref} adalah nilai kecepatan pada *inlet duct*. Untuk melihat proses *recovery* aliran maka diperlukan *section* acuan yaitu *section upstream* $z/Dh = 1$. Hasil dari profil kecepatan yang diamati hampir sama dengan variasi jarak $l/Dh = 0,1$, yaitu aliran pada *inlet elbow* yang melewati *ducting* tanpa dan dengan SDB mengalami perubahan distribusi profil kecepatan yaitu kecepatan pada posisi *inner wall* dan *outer guide vane* lebih besar dari sisi *outer wall* dan *inner guide vane*. Bentuk profil ini berubah pada *outlet elbow*, seperti yang terlihat pada gambar 4.4(a dan b), yaitu aliran akan semakin mengarah pada sisi *outer wall* dan *inner guide vane*. Perbedaan yang terlihat antara *ducting* tanpa dan dengan SDB, yaitu pada *ducting* dengan penambahan SDB aliran memiliki kecepatan yang lebih besar daripada *ducting* tanpa SDB di sekitar *guide vane*. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan SDB mampu meningkatkan momentum aliran sehingga mampu melawan *shear stress* dari *guide vane*.



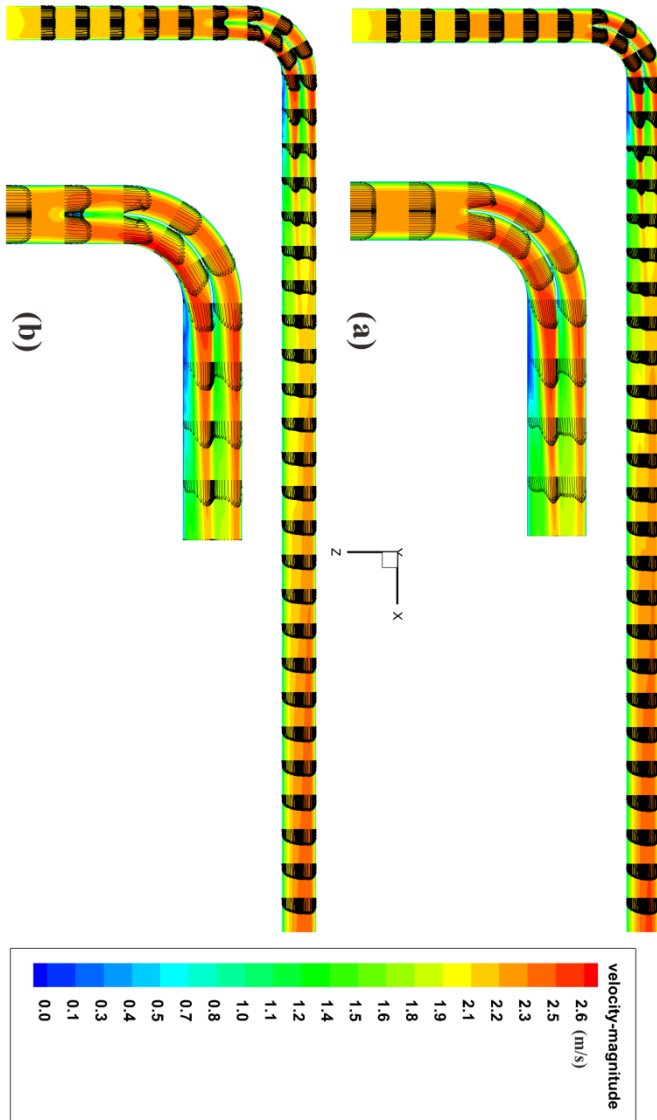
Gambar 4.4. Profil kecepatan *ducting* tanpa dan dengan SDB pada $l/Dh = 0,5$

(a) *Inlet Elbow*, (b) *Outlet Elbow*, (c) $x/Dh = 4$, (d) $x/Dh = 6$,
(e) $x/Dh = 10$, (f) $x/Dh = 16$, (g) $x/Dh = 22$, (h) $x/Dh = 26$

Defisit aliran mulai berpindah dari sisi *inner wall* menuju ke arah tengah hal ini diilustrasikan pada gambar 4.4 (e dan f). Hingga akhirnya pada $x/D_h = 26$ yang ditunjukkan pada gambar 4.4 (h) aliran sudah mulai mendekati bentuk seperti *section upstream* $z/D_h = 1$.

4.1.3 Perbandingan Distribusi Profil Kecepatan Sepanjang Ducting dengan Kontur Kecepatan (tanpa SDB dan dengan SDB $l/D_h = 0,9$)

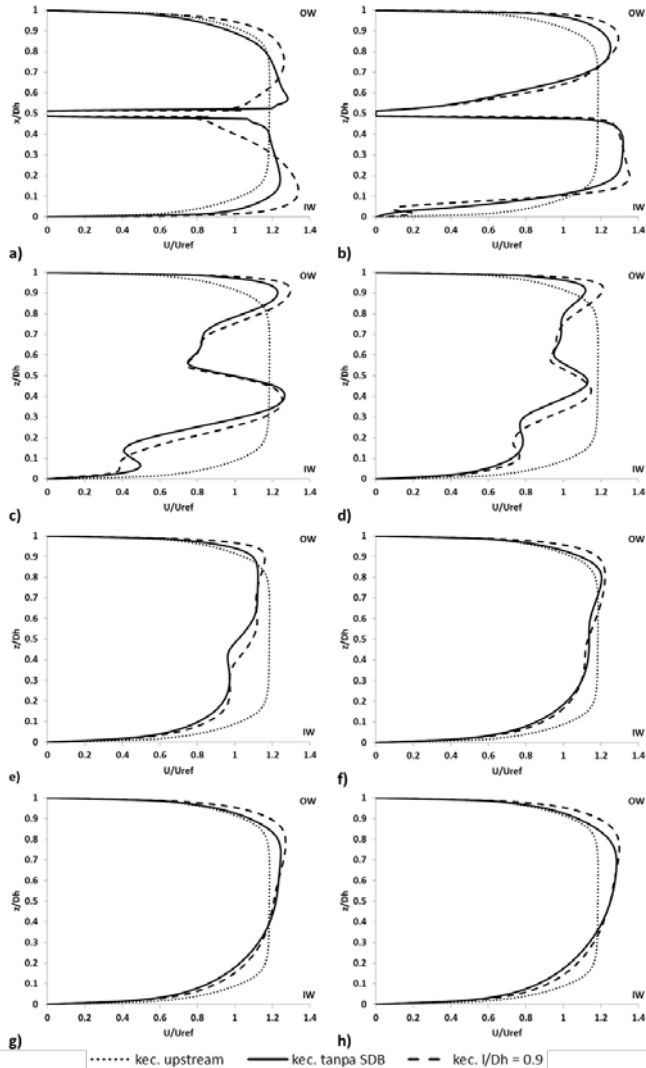
Pada gambar 4.5 terlihat bahwa aliran udara saat memasuki *ducting* mulai berkembang sampai dengan $7D_h$ pada bagian *upstream duct* tanpa SDB dan profil aliran mulai terpecah ketika aliran melewati *guide vane*. Sedangkan *ducting* yang diberikan SDB pada bagian *upstream duct* aliran berkembang sampai dengan $6D_h$, kemudian profil aliran mulai terpecah ketika aliran melewati SDB. Pada *ducting* tanpa SDB aliran udara pada bagian *elbow* 90° terlihat aliran memiliki kecepatan tertinggi pada bagian *inner elbow* dan *outer guide vane* sedangkan pada bagian *outer elbow* dan *inner guide vane* lebih rendah kecepatannya. Hal ini terjadi karena efek dari kelengkungan *elbow* 90° yang menyebabkan terjadinya separasi aliran menuju ke arah pusat lengkungan *elbow*. Pada bagian *downstream duct* pada posisi $x/D_h = 3$ terlihat aliran mengalami defisit pada sisi *inner wall*. Hal ini terjadi karena adanya *secondary flow* yang terjadi sejak aliran melewati *outlet elbow* sehingga aliran utama terhambat dengan aliran sekunder tersebut. Pada *ducting* yang ditambahkan SDB pada bagian *upstream duct* dengan $l/D_h = 0,9$ dan $g/D_h = 0,5$, terlihat kecepatan tertinggi hanya terdapat pada sisi *inner elbow*. Hal ini terjadi karena efek kelengkungan dari *elbow* 90° dan SDB. Kecepatan di sekitar *outer guide vane* tidak lagi tinggi. Hal itu disebabkan adanya SDB yang membuat *boundary layer* di sekitar *guide vane* terganggu. Sehingga aliran memiliki momentum yang cukup kuat untuk melawan *shear stresses* dari *guide vane*.



Gambar 4.5 Perbandingan profil kecepatan dan kontur kecepatan aliran *ducting* (a) tanpa SDB dan (b) dengan SDB pada $l/Dh = 0,9$

Hasil dari kontur kecepatan dengan dan tanpa SDB hampir sama dengan variasi jarak $l/Dh = 0,1$ dan $0,5$, yaitu terjadi perbedaan yang cukup signifikan bila dilihat dari *range* kecepatan yang disajikan dalam skala warna. Pada *ducting* tanpa SDB terlihat bahwa hasil kontur menunjukkan pada kecepatan yang kuat daerah *downstream* sisi *outer wall*, yaitu warna merah yang dominan pada daerah *outer*. Sedangkan dengan adanya SDB hasil kontur menunjukkan pada daerah *elbow* kontur kecepatan yang kuat hanya terjadi pada sisi *inner*.

Profil kecepatan pada *ducting* yang diberi penambahan SDB maupun tanpa SDB, dilakukan pengambilan data dalam bentuk grafik pada gambar 4.6. Absis pada grafik diambil pada posisi $z/Dh = 0$ (*outer wall*) sampai $z/Dh = 1$ (*inner wall*). Ordinat menunjukkan nilai u/U_{ref} , dimana u adalah kecepatan pada setiap bagian atau titik yang diambil datanya dan U_{ref} adalah nilai kecepatan pada *inlet duct*. Untuk melihat proses *recovery* aliran maka diperlukan *section* acuan yaitu *section upstream* $z/Dh = 1$. Hasil dari profil kecepatan yang diamati hampir sama dengan variasi jarak $l/Dh = 0,1$ dan $0,5$, yaitu aliran pada *inlet elbow* yang melewati *ducting* tanpa dan dengan SDB mengalami perubahan distribusi profil kecepatan yaitu kecepatan pada posisi *inner wall* dan *outer guide vane* lebih besar dari sisi *outer wall* dan *inner guide vane*. Bentuk profil ini berubah pada *outlet elbow*, seperti yang terlihat pada gambar 4.6(a dan b), yaitu aliran akan semakin mengarah pada sisi *outer wall* dan *inner guide vane*. Perbedaan yang terlihat antara *ducting* tanpa dan dengan SDB, yaitu pada *ducting* dengan penambahan SDB aliran memiliki kecepatan yang lebih tinggi daripada *ducting* tanpa SDB. Hal itu menunjukkan bahwa adanya SDB mampu meningkatkan momentum aliran sehingga mampu mengurangi efek dari *shear stress* yang dihasilkan oleh *guide vane*.

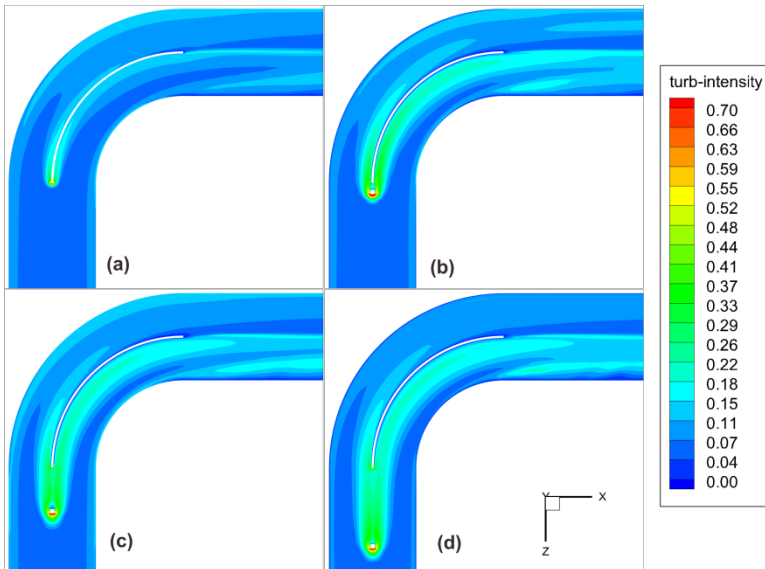


Gambar 4.6. Profil kecepatan *ducting* tanpa dan dengan SDB pada $l/D_h = 0,9$

(a) *Inlet Elbow*, (b) *Outlet Elbow*, (c) $x/D_h = 4$, (d) $x/D_h = 6$,
(e) $x/D_h = 10$, (f) $x/D_h = 16$, (g) $x/D_h = 22$, (h) $x/D_h = 26$

Defisit aliran mulai berpindah dari sisi *inner wall* menuju ke arah tengah hal ini diilustrasikan pada gambar 4.6 (e dan f). Hingga akhirnya pada $x/Dh= 26$ yang ditunjukkan pada gambar 4.6 (h) aliran sudah mulai mendekati bentuk seperti *section upstream* $z/Dh= 1$.

4.1.4 Perbandingan Kontur Intensitas Turbulensi dari Semua Variasi



Gambar 4.7 Perbandingan Kontur Intensitas Turbulensi *Ducting*
 (a) Tanpa SDB; (b) SDB $l/Dh= 0,1$;
 (c) SDB $l/Dh= 0,5$; (d) SDB $l/Dh= 0,9$

Pada gambar 4.6 terlihat bahwa penambahan SDB pada semua variasi jarak longitudinal mampu meningkatkan intensitas turbulensi pada ducting. Pada ducting tanpa SDB intensitas turbulensi tertinggi hanya terjadi ketika aliran fluida mulai melewati guide vane. Sehingga peningkatan intensitas turbulensi yang terjadi pada *elbow* tidak terlalu signifikan, ditunjukkan

dengan range warna biru muda. Dan pada sisi inner wall masih menunjukkan intensitas turbulensi yang rendah hingga melewati *outlet elbow*, ditunjukkan dengan range warna biru tua.

Sementara itu, penambahan SDB pada $l/Dh = 0,1$ mampu meningkatkan intensitas turbulensi aliran terutama pada daerah sekitar guide vane, ditunjukkan range warna hijau, hingga *outlet elbow*. Selain itu intensitas turbulensi aliran setelah melewati *elbow* juga meningkat, ditunjukkan dengan range warna biru muda, yang mana jika dibandingkan dengan ducting tanpa SDB, ducting dengan SDB pada $l/Dh = 0,1$ ini menghasilkan kontur intensitas turbulensi berwarna biru muda pada downstream yang lebih banyak. Hal serupa juga terjadi pada ducting dengan penambahan SDB pada $l/Dh = 0,5$ dan $0,9$.

Yang membedakan dari tiap variasi penambahan SDB adalah posisi akhir aliran dengan intensitas turbulensi yang cukup tinggi, ditunjukkan dengan range warna hijau. Pada posisi $l/Dh = 0,1$ aliran dengan intensitas turbulensi yang tinggi dapat terjadi hingga *outlet elbow*. Sedangkan pada posisi $l/Dh = 0,5$ intensitas turbulensi yang tinggi hanya sampai posisi sekitar 30° *elbow*. Sedangkan pada posisi $l/Dh = 0,9$ hanya sampai *inlet elbow*.

4.2 Perbandingan Vektor Kecepatan dan Kontur Pathline Setiap Surface Cross-section Tanpa dan dengan SDB pada $Re = 1,5 \times 10^4$

Pada subbab ini akan ditampilkan data kualitatif berupa tampilan atau visualisasi aliran dengan vektor kecepatan dan kontur *pathline* pada masing-masing surface disetiap *cross-section*. Visualisai ini akan mempermudah pengamatan perilaku dari aliran yang terjadi pada *ducting* secara 3D.

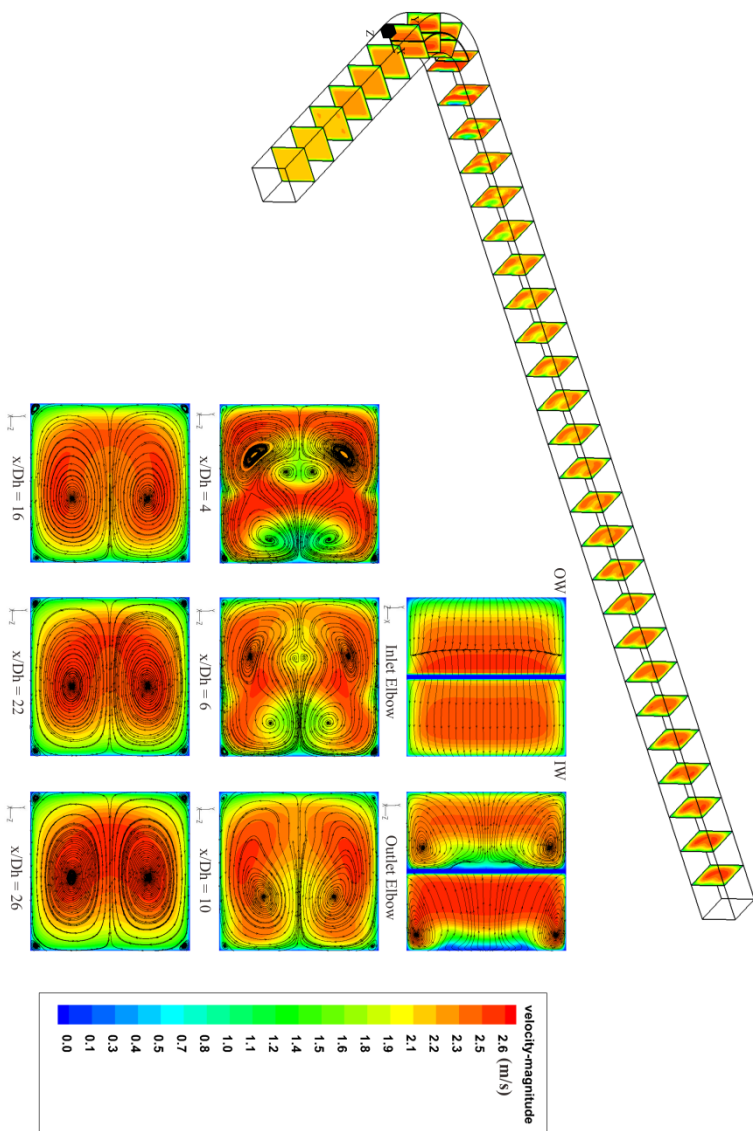
4.2.1 Visualisasi Vektor Kecepatan dan Kontur Pathline Setiap surface Cross-section Tanpa SDB

Visualisasi vektor kecepatan dan kontur *pathline* akan ditampilkan pada setiap *surface-cross section* tanpa SDB. *Secondary flow* akan terlihat pada masing-masing *surface cross-*

section, surface yang diambil untuk menampilkan kontur *pathline* yaitu pada *inlet elbow*, *outlet elbow*, $x/Dh = 4$, $x/Dh = 6$, $x/Dh = 10$, $x/Dh = 16$, $x/Dh = 22$, dan $x/Dh = 26$ untuk *pathline* dan keseluruhan *surface cross-section* untuk vektor kecepatan.

Gambar 4.10 menjelaskan tentang aliran udara yang memasuki *ducting system*. Aliran udara mula-mula masuk pada *inlet upstream duct*, sepanjang bagian ini aliran tidak mengalami *secondary flow* dikarenakan masih melalui saluran yang lurus, kemudian sesaat ketika aliran akan memasuki *elbow 90°* aliran mulai mengalir dari sisi *outer wall* menuju sisi *inner wall*, pada bagian ini aliran mulai terbentuk *secondary flow* hal ini terjadi karena faktor dari kelengkungan *elbow 90°*. Aliran kemudian melalui bagian *downstream duct*, di bagian ini pada *section* $x/Dh = 4$ mulai terlihat *base vortex* yaitu pusaran yang terbentuk akibat aliran yang mengalir pada sisi *outer wall* dari *elbow 90°* menuju sisi *inner elbow 90°* secara berulang-ulang. Pada sudut-sudut *ducting* juga terdapat *corner vortex*. *Secondary flow, base vortex dan corner vortex* mulai berkurang pada $x/Dh = 10$ sampai $x/Dh = 26$.

Selain kontur *pathline* terdapat juga kontur kecepatan beberapa *surface cross-section* dimana pada *inlet elbow* kontur kecepatan tertinggi berada pada sisi *inner wall* yaitu ditandai dengan kontur berwarna merah yang memiliki kecepatan tertinggi selain itu pada sisi *outer wall* memiliki kecepatan yang lebih rendah ditandai dengan kontur kecepatan berwarna hijau. Sedangkan pada *outlet elbow* sisi *inner wall* memiliki kecepatan rendah diakibatkan karena adanya aliran yang terseparasi saat melewati *elbow* serta munculnya *energy kinetic losses* dimana aliran tidak mampu melawan *adverse pressure* sehingga pada bagian tertentu terdapat aliran yang kembali (*backflow*). Selain itu pada $x/Dh = 4$ sampai dengan $x/Dh = 26$ kontur kecepatan tertinggi mulai berpindah menuju sisi *outer wall*.



Gambar 4.8 Vektor kecepatan dan kontur *pathline* pada *ducting* tanpa SDB

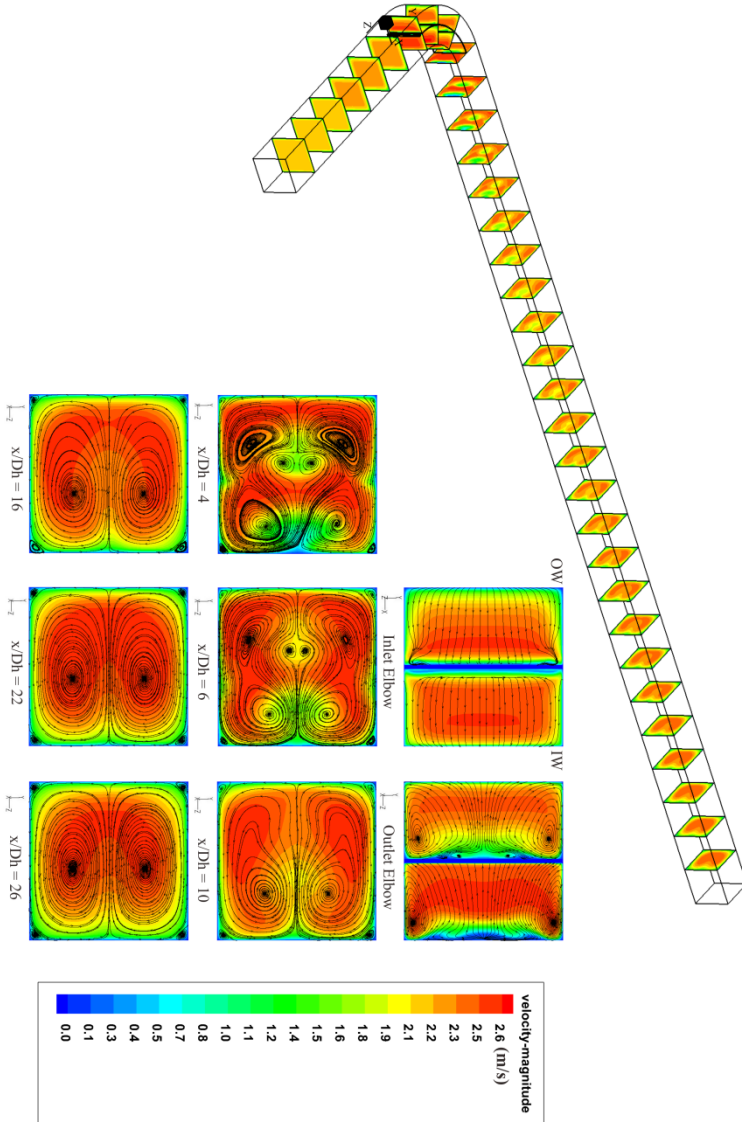
4.2.2 Visualisasi Vektor kecepatan dan kontur *Pathline*

Setiap *Surface Cross-section* dengan SDB pada $l/Dh=0,1$

Visualisasi vektor kecepatan dan kontur *pathline* akan ditampilkan pada setiap *surface-cross section* dengan SDB pada $l/Dh= 0,1$. *Secondary flow* akan terlihat pada masing-masing *surface cross-section*, yaitu pada *inlet elbow*, *outlet elbow*, $x/Dh=4$, $x/Dh= 6$, $x/Dh= 10$, $x/Dh= 16$, $x/Dh= 22$, dan $x/Dh= 26$ untuk *pathline* dan keseluruhan *surface cross-section* untuk vektor kecepatan.

Gambar 4.12 menjelaskan tentang aliran udara yang memasuki *ducting system*. Aliran udara mula-mula masuk pada *inlet upstream duct*, pada bagian ini aliran mengalami *secondary flow* ketika menabrak SDB, serta sesaat ketika aliran akan memasuki *elbow* 90° aliran mulai mengalir dari sisi *outer wall* menuju sisi *inner wall*. Pada bagian *elbow* terbentuk *secondary flow* yang terjadi karena faktor dari kelengkungan *elbow* 90° . Aliran kemudian melalui bagian *downstream duct*, di bagian ini pada *section* $x/Dh= 4$ mulai terlihat *base vortex* yaitu pusaran yang terbentuk akibat aliran yang mengalir pada sisi *outer wall* dari *elbow* 90° menuju sisi *inner elbow* 90° secara berulang-ulang. Pada sudut-sudut dari *ducting* juga terdapat *corner vortex*. *Secondary flow*, *base vortex* dan *corner vortex* mulai berkurang pada $x/Dh= 10$ sampai $x/Dh= 26$.

Pada beberapa *surface cross-section*, untuk daerah *inlet elbow* kontur kecepatan tertinggi berada di sisi *inner wall* hal ini ditandai dengan kontur berwarna merah yaitu memiliki kecepatan tinggi selain itu pada sisi *outer wall* memiliki kecepatan rendah ditandai dengan kontur kecepatan berwarna hijau. Sedangkan pada *outlet elbow* pada bagian *inner wall* memiliki kecepatan yang rendah diakibatkan karena adanya aliran yang terseparasi saat melewati *elbow* serta munculnya *energy kinetic losses* dimana aliran tidak mampu melawan *adverse pressure* sehingga pada bagian tertentu terdapat aliran yang kembali (*backflow*). Selain itu pada $x/Dh= 4$ sampai dengan $x/Dh= 26$ kontur kecepatan tertinggi mulai berpindah menuju sisi *outer wall*.



Gambar 4.9 Vektor kecepatan dan kontur *pathline* pada ducting dengan SDB $l/Dh=0,1$

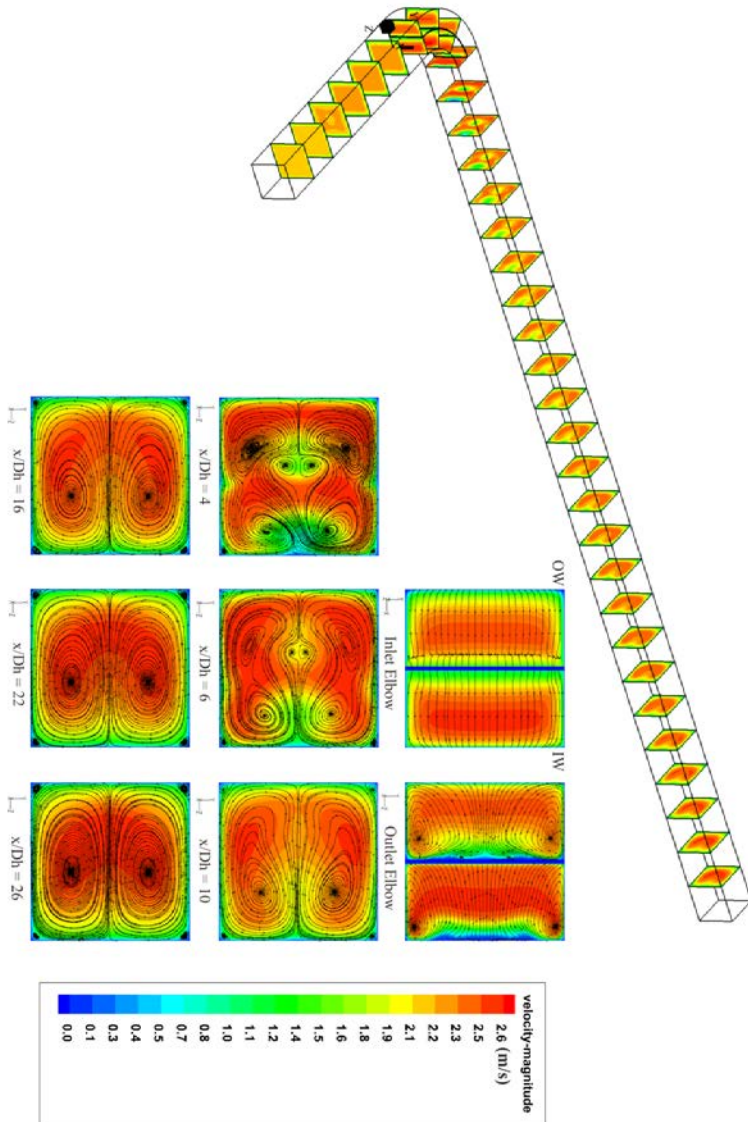
4.2.3 Visualisasi Vektor kecepatan dan kontur *Pathline*

Setiap *Surface Cross-section* dengan SDB pada $l/Dh=0,5$

Visualisasi vektor kecepatan dan kontur *pathline* akan ditampilkan pada setiap *surface-cross section* dengan SDB pada $l/Dh= 0,5$. *Secondary flow* akan terlihat pada masing-masing *surface cross-section*, yaitu pada *inlet elbow*, *outlet elbow*, $x/Dh= 4$, $x/Dh= 6$, $x/Dh= 10$, $x/Dh= 16$, $x/Dh= 22$, dan $x/Dh= 26$.

Gambar 4.13 menjelaskan tentang aliran udara yang memasuki *ducting system*. Aliran udara mula-mula masuk pada *inlet upstream duct*, pada bagian ini aliran mengalami *secondary flow* ketika menabrak SDB, serta sesaat ketika aliran akan memasuki *elbow* 90° aliran mulai mengalir dari sisi *outer wall* menuju sisi *inner wall*. Pada bagian *elbow* terbentuk *secondary flow* yang terjadi karena faktor dari kelengkungan *elbow* 90° . Aliran kemudian melalui bagian *downstream duct*, di bagian ini pada *section* $x/Dh= 4$ mulai terlihat *base vortex* yaitu pusaran yang terbentuk akibat aliran yang mengalir pada sisi *outer wall* dari *elbow* 90° menuju sisi *inner elbow* 90° secara berulang-ulang. Pada sudut-sudut dari *ducting* juga terdapat *corner vortex*. *Secondary flow*, *base vortex* dan *corner vortex* mulai berkurang pada $x/Dh= 10$ sampai $x/Dh= 26$.

Pada kontur kecepatan beberapa *surface cross-section*, untuk daerah *inlet elbow* kontur kecepatan tertinggi berada di sisi *inner wall* hal ini ditandai dengan kontur berwarna merah yaitu memiliki kecepatan tinggi selain itu pada sisi *outer wall* memiliki kecepatan rendah ditandai dengan kontur kecepatan berwarna hijau. Sedangkan pada *outlet elbow* pada bagian *inner wall* memiliki kecepatan yang rendah diakibatkan karena adanya aliran yang terseparasi saat melewati *elbow* serta munculnya *energy kinetic losses* dimana aliran tidak mampu melawan *adverse pressure* sehingga pada bagian tertentu terdapat aliran yang kembali (*backflow*). Selain itu pada $x/Dh= 4$ sampai dengan $x/Dh= 26$ kontur kecepatan tertinggi mulai berpindah menuju sisi *outer wall*.



Gambar 4.10 Vektor kecepatan dan kontur *pathline* pada *ducting* dengan SDB $l/Dh=0,5$

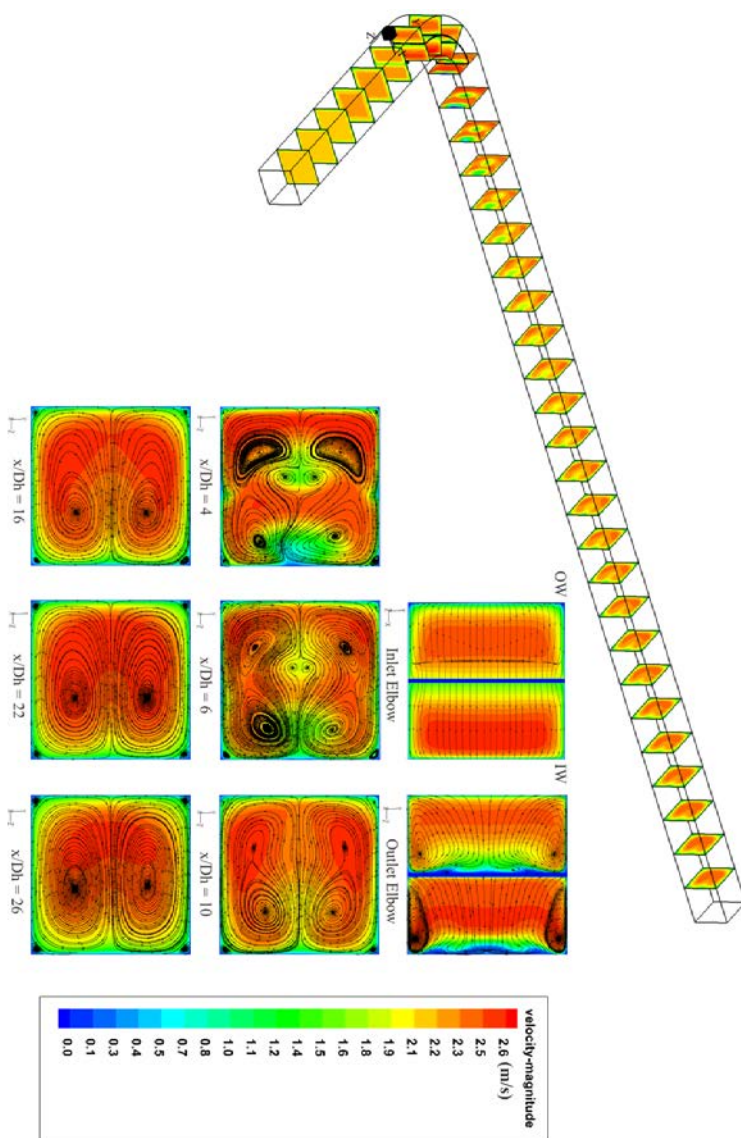
4.2.4 Visualisasi Vektor kecepatan dan kontur *Pathline*

Setiap *Surface Cross-section* dengan SDB pada $l/Dh=0,9$

Visualisasi vektor kecepatan dan kontur *pathline* akan ditampilkan pada setiap *surface-cross section* dengan SDB pada $l/Dh= 0,9$. *Secondary flow* akan terlihat pada masing-masing *surface cross-section*, *surface* yang diambil untuk menampilkan kontur *pathline* yaitu pada *inlet elbow*, *outlet elbow*, $x/Dh= 4$, $x/Dh= 6$, $x/Dh= 10$, $x/Dh= 16$, $x/Dh= 22$, dan $x/Dh= 26$.

Gambar 4.14 menjelaskan tentang aliran udara yang memasuki *ducting system*. Aliran udara mula-mula masuk pada *inlet upstream duct*, pada bagian ini aliran mengalami *secondary flow* ketika menabrak SDB, serta sesaat ketika aliran akan memasuki *elbow* 90° aliran mulai mengalir dari sisi *outer wall* menuju sisi *inner wall*. Pada bagian *elbow* terbentuk *secondary flow* yang terjadi karena faktor dari kelengkungan *elbow* 90° . Aliran kemudian melalui bagian *downstream duct*, di bagian ini pada *section* $x/Dh= 4$ mulai terlihat *base vortex* yaitu pusaran yang terbentuk akibat aliran yang mengalir pada sisi *outer wall* dari *elbow* 90° menuju sisi *inner elbow* 90° secara berulang-ulang. Pada sudut-sudut dari *ducting* juga terdapat *corner vortex*. *Secondary flow*, *base vortex* dan *corner vortex* mulai berkurang pada $x/Dh= 10$ sampai $x/Dh= 26$.

Pada kontur kecepatan tiap *surface cross-section*, untuk daerah *inlet elbow* kontur kecepatan tertinggi berada di sisi *inner wall* hal ini ditandai dengan kontur berwarna merah yaitu memiliki kecepatan tinggi selain itu pada sisi *outer wall* memiliki kecepatan rendah ditandai dengan kontur kecepatan berwarna hijau. Sedangkan pada *outlet elbow* pada bagian *inner wall* memiliki kecepatan yang rendah diakibatkan karena adanya aliran yang terseparasi saat melewati *elbow* serta munculnya *energy kinetic losses* dimana aliran tidak mampu melawan *adverse pressure* sehingga pada bagian tertentu terdapat aliran yang kembali (*backflow*). Selain itu pada $x/Dh= 4$ sampai dengan $x/Dh= 26$ kontur kecepatan tertinggi mulai berpindah menuju sisi *outer wall*.

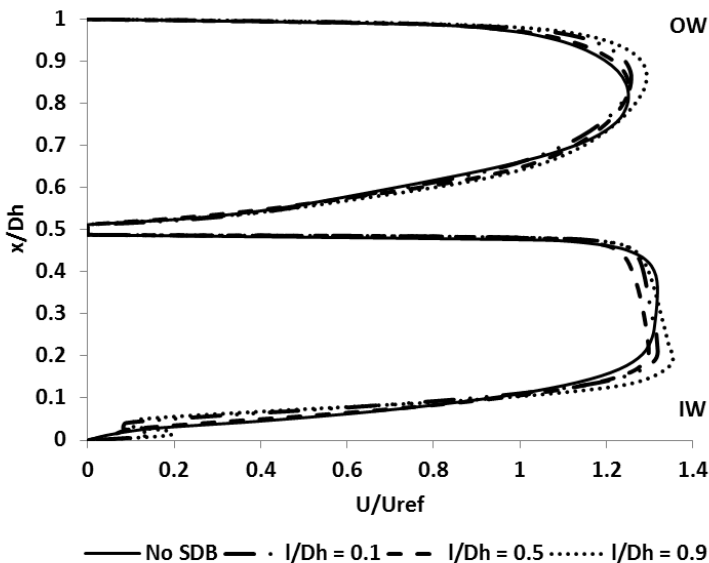


Gambar 4.11 Vektor kecepatan dan kontur *pathline* pada *ducting* dengan $l/Dh=0,9$

4.3 Perbandingan Profil Kecepatan dan Pathline Setiap Variasi *Ducting* pada Posisi Tertentu

4.3.1 Posisi *Outlet Elbow*

Profil kecepatan pada *outlet elbow* akan dibandingkan distribusi profil kecepatan pada setiap variasinya yang bertujuan untuk mengetahui sejauh mana perbedaan profil kecepatan yang terjadi. Pada gambar 4.7 ditampilkan profil kecepatan aliran pada setiap variasi pada *outlet elbow*.

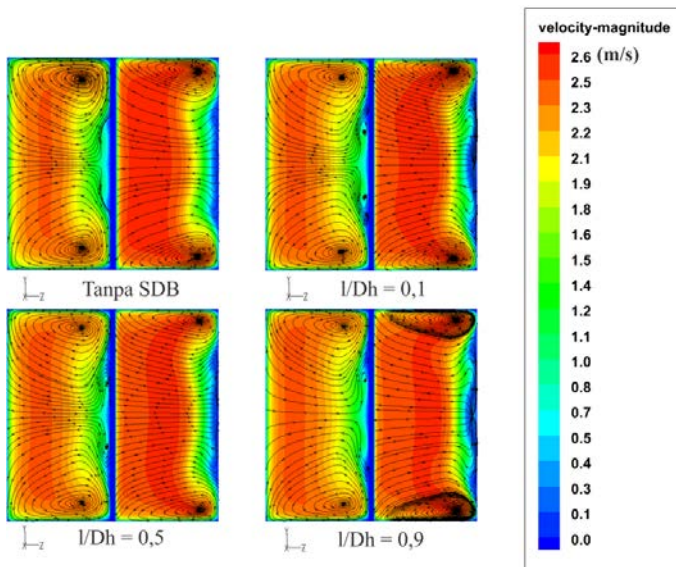


Gambar 4.12 Profil kecepatan aliran tiap variasi *ducting* tanpa dan dengan SDB pada *outlet elbow*

Dari gambar di atas dapat ditunjukkan bahwa profil aliran pada *outlet elbow* di sisi *outer wall* dan *inner guide vane* memiliki kecepatan yang lebih tinggi daripada sisi *inner wall* dan *outer guide vane*. Hal itu disebabkan adanya separasi aliran akibat kelengkungan dari *elbow*. Pengaruh adanya SDB dapat kita lihat

juga pada gambar tersebut. Pada *ducting* dengan SDB diketahui memiliki profil kecepatan yang lebih panjang daripada tanpa SDB. Selain itu pada daerah sekitar *guide vane*, aliran pada *ducting* dengan SDB memiliki kemampuan yang lebih baik untuk melawan *boundary layer* dari *guide vane*. Hal itu menunjukkan bahwa aliran pada *ducting* dengan penambahan SDB memiliki momentum yang lebih besar daripada aliran pada *ducting* tanpa SDB. Sehingga aliran yang memiliki momentum lebih besar tersebut mampu mengurangi efek *shear stress* dari *guide vane*. Hasilnya *losses* yang terjadi akibat penambahan *guide vane* bisa sedikit teratasi.

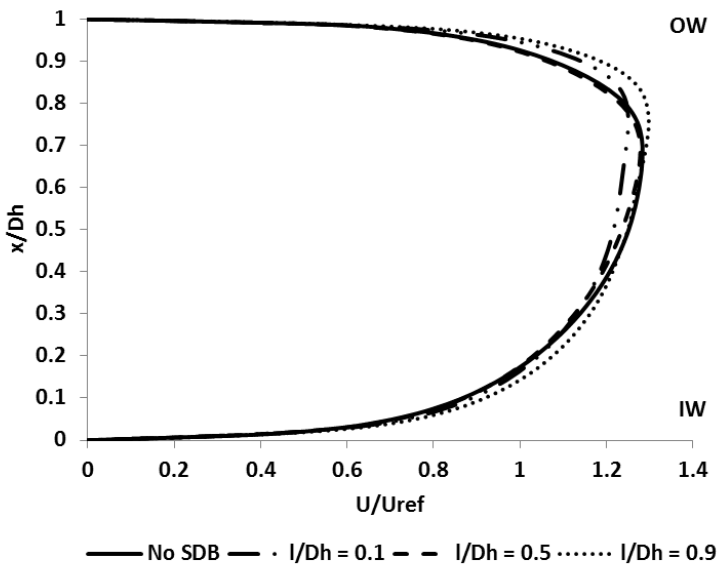
Gambar 4.8 menggambarkan terjadinya fenomena *secondary flow* yang terjadi pada *outlet elbow* tiap variasi model uji *ducting* dimana *IW* = *inner wall* dan *OW* = *outer wall*. Kontur kecepatan tiap variasi model uji *ducting* relatif sama. Hal yang sedikit membedakan adalah *range* warna di antara *guide vane* dan *inner wall*.



Gambar 4.13 *Pathline surface* tiap variasi *ducting* pada *outlet elbow*

4.3.2 Posisi $x/D_h = 26$

Profil kecepatan pada $x/D_h = 26$ akan dibandingkan distribusi profil kecepatan pada setiap variasinya yang bertujuan untuk mengetahui sejauh mana perbedaan profil kecepatan yang terjadi. $x/D_h = 26$ merupakan *cross section* yang terletak pada *section downstream* $1D_h$ sebelum *outlet duct*. Pada gambar 4.7 ditampilkan profil kecepatan aliran pada setiap variasi pada $x/D_h = 26$.

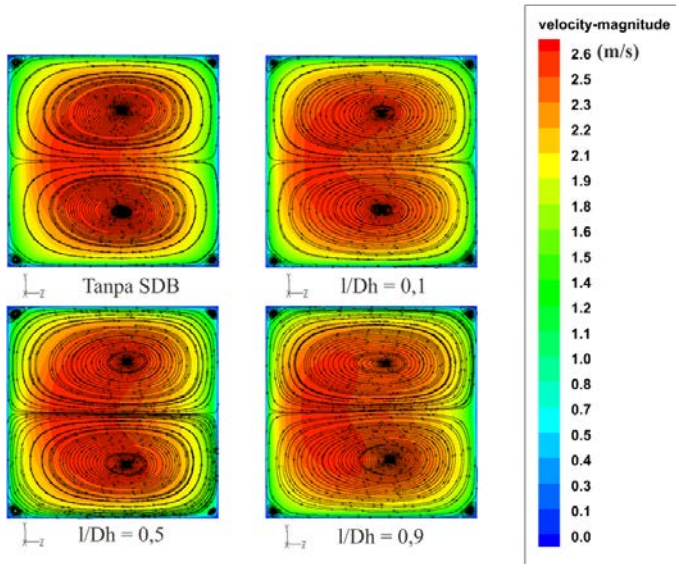


Gambar 4.14 Profil kecepatan aliran tiap variasi *ducting* tanpa dan dengan SDB pada $x/D_h = 26$

Dari gambar di atas dapat ditunjukkan bahwa profil aliran pada $x/D_h = 26$ sudah sama karena efek dari kelengkungan *elbow* serta penambahan SDB sudah tidak berpengaruh terhadap profil aliran. Selain itu profil kecepatan sudah dapat dikatakan *recovery*, karena bentuk dari profil hampir menyerupai profil kecepatan

pada posisi *upstream* pada $z/Dh = 1$. Pada posisi ini aliran hampir mencapai *fully developed* karena panjang dari *downstream* yang cukup panjang. Pada posisi *outer wall* kecepatan aliran masih lebih besar dari pada sisi *inner wall*.

Gambar 4.8 menggambarkan terjadinya fenomena *secondary flow* yang terjadi pada $x/Dh = 26$ tiap variasi model uji *ducting* dimana *IW* = *inner wall* dan *OW* = *outer wall*. Kontur kecepatan tiap variasi model uji *ducting* sudah sama sehingga dapat disimpulkan bahwa pada $x/Dh = 26$ aliran dengan SDB sudah dapat menyerupai aliran tanpa SDB meskipun masih terdapat efek *secondary flow* pada sisi *center* dan juga *corner*.



Gambar 4.15 *Pathline surface* tiap variasi *ducting* pada $x/Dh = 26$

4.4 Perbandingan Data Kuantitatif Setiap Variasi Model *Ducting* pada Setiap Variasi Kecepatan

Pada subbab ini akan ditampilkan data nilai dari *pressure drop* dan *pressure coefficient* secara keseluruhan dari masing-

masing variasi SDB, data akan ditampilkan dalam bentuk tabel serta grafik.

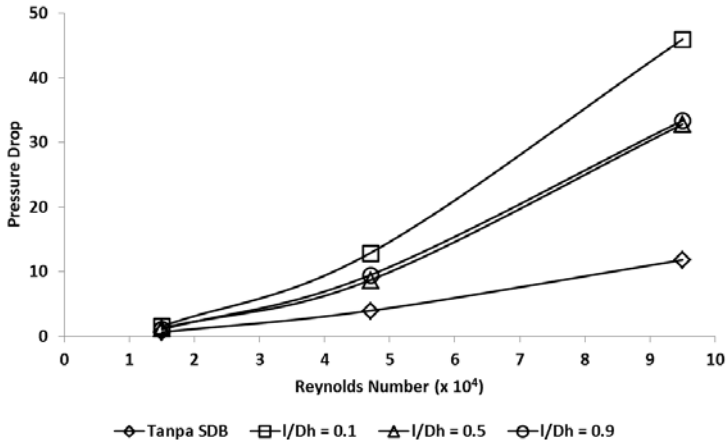
4.4.1 Pressure Drop

Data kuantitatif dari pressure drop di bagi menjadi empat bagian yaitu *pressure drop* pada *upstream duct*, *elbow 90°*, *downstream duct* serta *ducting* secara keseluruhan (*overall*).

Tabel 4.1 *Pressure drop section inlet dan outlet upstream*

Re	Variasi	Pressure Drop Upstream		
		Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP (Pa)
$1,5 \times 10^4$	Tanpa SDB	-8.974	-9.586	0.612
	$l/D_h = 0,1$	-9.247	-10.746	1.499
	$l/D_h = 0,5$	-8.732	-9.964	1.232
	$l/D_h = 0,9$	-9.263	-10.305	1.042
$4,7 \times 10^4$	Tanpa SDB	-16.571	-20.503	3.932
	$l/D_h = 0,1$	-13.198	-26.044	12.846
	$l/D_h = 0,5$	-17.454	-26.128	8.674
	$l/D_h = 0,9$	-12.192	-21.64	9.448
$9,5 \times 10^4$	Tanpa SDB	-75.799	-87.589	11.79
	$l/D_h = 0,1$	-66.956	-112.893	45.937
	$l/D_h = 0,5$	-68.826	-101.627	32.801
	$l/D_h = 0,9$	-61.246	-94.621	33.375

Pada tabel 4.1 di atas menampilkan hasil dari *pressure drop* pada *section inlet* dan *outlet upstream duct*. Nilai *pressure drop* tanpa SDB hasilnya lebih kecil daripada yang menggunakan SDB, *pressure drop* tertinggi terjadi pada variasi $l/D_h = 0,1$ dan akan semakin tinggi seiring dengan meningkatnya nilai *Reynolds number*.



Gambar 4.16 Grafik *Pressure Drop Upstream Duct*

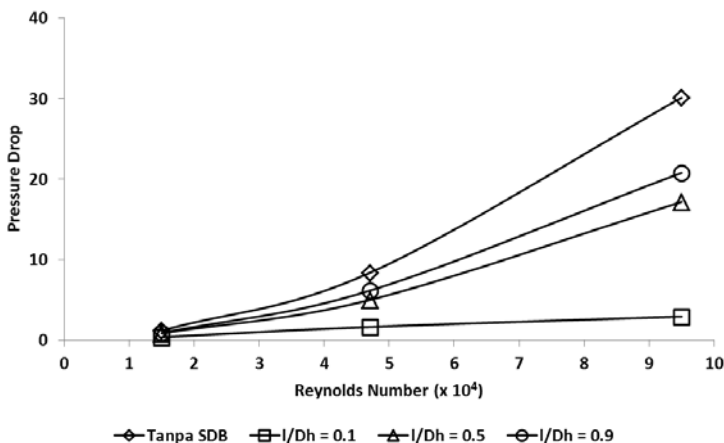
Untuk memudahkan pengamatan data dirubah dalam bentuk grafik pada gambar 4.15 dimana dengan adanya SDB *pressure drop* semakin meningkat, hal ini terjadi karena akibat dari penambahan SDB yang membuat aliran udara pada sisi *outlet upstream duct* terganggu yang mempengaruhi nilai *pressure* pada sisi *outlet* karena luas efektif aliran melewati saluran mengecil.

Tabel 4.2 *Pressure drop section inlet dan outlet elbow*

Re	Variasi	Pressure Drop Elbow		
		Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP (Pa)
$1,5 \times 10^4$	Tanpa SDB	-9.586	-10.753	1.167
	$l/D_h = 0,1$	-10.746	-11.106	0.36
	$l/D_h = 0,5$	-9.964	-10.792	0.828
	$l/D_h = 0,9$	-10.305	-11.185	0.88
$4,7 \times 10^4$	Tanpa SDB	-20.503	-28.844	8.341
	$l/D_h = 0,1$	-26.044	-27.657	1.613
	$l/D_h = 0,5$	-26.128	-31.107	4.979

	$l/Dh = 0,9$	-21.64	-27.769	6.129
$9,5 \times 10^4$	Tanpa SDB	-87.589	-117.707	30.118
	$l/Dh = 0,1$	-112.893	-115.791	2.898
	$l/Dh = 0,5$	-101.627	-118.79	17.163
	$l/Dh = 0,9$	-94.621	-115.413	20.792

Pada tabel 4.2 ditampilkan hasil dari *pressure drop* pada *section inlet* dan *outlet elbow 90° duct*. Nilai *pressure drop* tanpa SDB hasilnya lebih besar daripada yang menggunakan SDB, *pressure drop* terkecil terjadi pada variasi $l/Dh = 0,1$.



Gambar 4.17 Grafik *Pressure Drop Elbow*

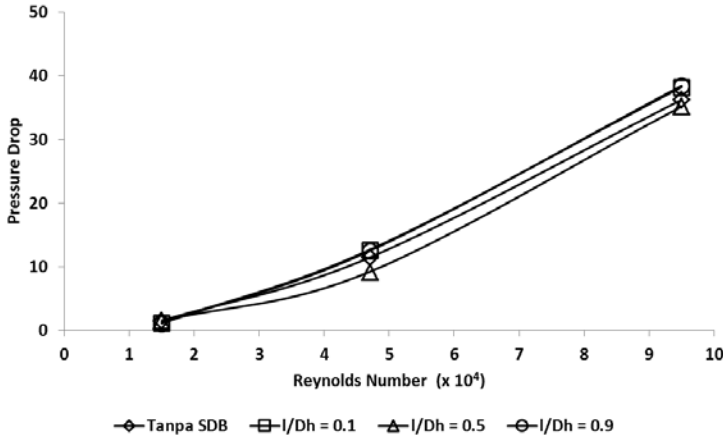
Untuk memudahkan pengamatan data dirubah dalam bentuk grafik pada gambar 4.16 dimana dengan adanya SDB *pressure drop* menjadi turun, ini terjadi karena dengan adanya SDB mampu mengganggu *boundary layer* di sekitar *guide vane* sehingga kecepatan aliran pada *elbow* semakin meningkat dan momentum pada aliran pada sekitar *guide vane* pun semakin

meningkat yang mengurangi efek *shear stress guide vane* sehingga *pressure drop* tereduksi.

Tabel 4.3 *Pressure drop section inlet dan outlet downstream*

Re	Variasi	<i>Pressure Drop Downstream</i>		
		Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP (Pa)
$1,5 \times 10^4$	Tanpa SDB	-10.753	-12.286	1.533
	$l/Dh = 0,1$	-11.106	-12.292	1.186
	$l/Dh = 0,5$	-10.792	-12.286	1.494
	$l/Dh = 0,9$	-11.185	-12.286	1.101
$4,7 \times 10^4$	Tanpa SDB	-28.844	-40.305	11.461
	$l/Dh = 0,1$	-27.657	-40.319	12.662
	$l/Dh = 0,5$	-31.107	-40.318	9.211
	$l/Dh = 0,9$	-27.769	-40.27	12.501
$9,5 \times 10^4$	Tanpa SDB	-117.707	-153.953	36.246
	$l/Dh = 0,1$	-115.791	-154.029	38.238
	$l/Dh = 0,5$	-118.79	-153.969	35.179
	$l/Dh = 0,9$	-115.413	-153.857	38.444

Pada tabel 4.3 menampilkan hasil dari *pressure drop* pada *section inlet* dan *outlet downstream duct* dengan $Re = 1,5 \times 10^4$. Nilai *pressure drop* tanpa SDB hasilnya lebih besar daripada yang menggunakan SDB, *pressure drop* terkecil terjadi pada variasi $l/Dh = 0,9$. Pada tabel 4.8 menampilkan hasil dari *pressure drop* dengan $Re = 4,7 \times 10^4$. Nilai *pressure drop* terkecil terjadi pada variasi $l/Dh = 0,5$. Pada tabel 4.9 menampilkan hasil dari *pressure drop* dengan $Re = 9,5 \times 10^4$. Nilai *pressure drop* terkecil terjadi pada variasi $l/Dh = 0,5$.



Gambar 4.18 Grafik *Pressure Drop Downstream*

Untuk memudahkan pengamatan data dirubah dalam bentuk grafik pada gambar 4.17 dimana dengan pemberian SDB pada $Re = 1,5 \times 10^4$ *pressure drop* menjadi turun, ini terjadi karena dengan adanya SDB kecepatan aliran pada *elbow* semakin meningkat dan momentum pada aliran pun semakin meningkat yang membuat separasi aliran mengecil yang membuat *pressure drop* pada *downstream duct* turun.

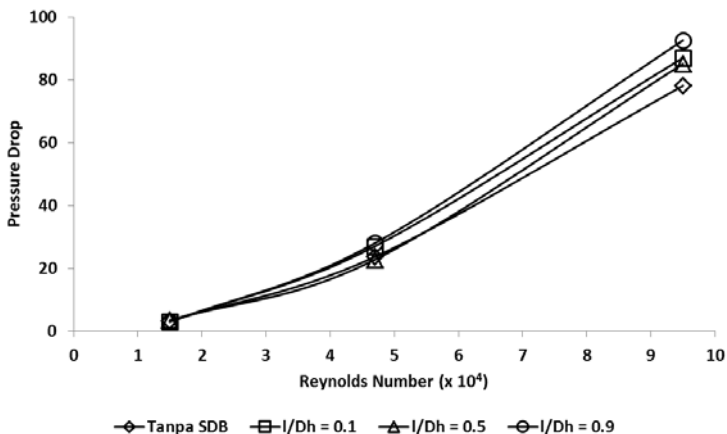
Hasil *pressure drop* keseluruhan yaitu dari sisi *inlet* dan *outlet duct*, hasilnya *ducting* dengan penambahan SDB efektif menurunkan *pressure drop* daripada tanpa SDB pada $Re = 1,5 \times 10^4$.

Tabel 4.4 *Pressure drop section inlet dan outlet duct*

Re	<i>Pressure Drop Overall</i>			
	Variasi	Pinlet (Pa)	Poutlet (Pa)	ΔP (Pa)
$1,5 \times 10^4$	Tanpa SDB	-8.974	-12.286	3.312
	$l/D_h = 0,1$	-9.247	-12.292	3.045
	$l/D_h = 0,5$	-8.732	-12.286	3.554

	$l/Dh = 0,9$	-9.263	-12.286	3.023
$4,7 \times 10^4$	Tanpa SDB	-16.571	-40.305	23.734
	$l/Dh = 0,1$	-13.198	-40.319	27.121
	$l/Dh = 0,5$	-17.454	-40.318	22.864
	$l/Dh = 0,9$	-12.192	-40.27	28.078
$9,5 \times 10^4$	Tanpa SDB	-75.799	-153.953	78.154
	$l/Dh = 0,1$	-66.956	-154.029	87.073
	$l/Dh = 0,5$	-68.826	-153.969	85.143
	$l/Dh = 0,9$	-61.246	-153.857	92.611

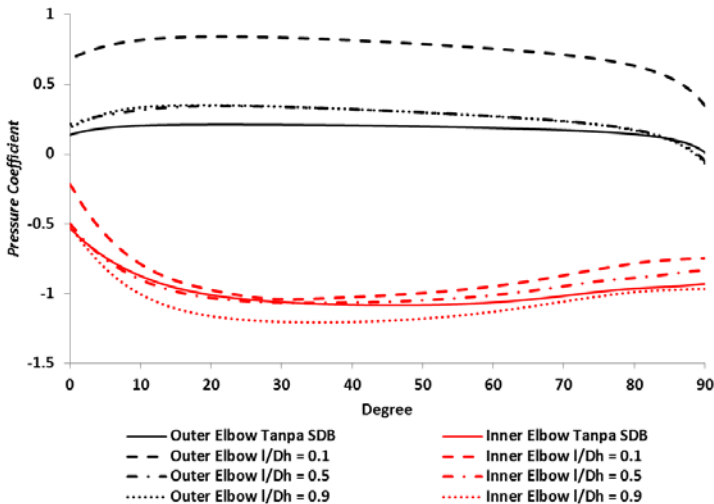
Pada tabel di atas menampilkan hasil dari *pressure drop* pada *section inlet* dan *outlet ducting*. Pada tabel 4.4, didapatkan nilai *pressure drop* dengan SDB pada $l/Dh = 0,1$ dan $0,9$ hasilnya lebih kecil daripada tanpa SDB pada $Re = 1,5 \times 10^4$. Selain itu, didapatkan juga nilai *pressure drop* dengan SDB pada $l/Dh = 0,5$ lebih kecil daripada tanpa SDB pada $Re = 4,7 \times 10^4$.



Gambar 4.19 Grafik *Pressure Drop Overall Square Duct* dengan *elbow 90°*

Untuk memudahkan pengamatan, data dirubah dalam bentuk grafik pada gambar 4.18 dimana dengan penambahan SDB pada $l/D_h = 0,1$ dan $0,9$ *pressure drop* semakin menurun pada $Re = 1,5 \times 10^4$ dan penambahan SDB pada $l/D_h = 0,5$ juga membuat *pressure drop* semakin menurun pada $Re = 4,7 \times 10^4$. Sementara itu penambahan SDB semakin meningkatkan *pressure drop* pada $Re = 9,5 \times 10^4$.

4.4.2 Pressure Coefficient



Gambar 4.20 Grafik *Pressure Coefficient Square Duct* dengan *elbow 90° Single Guide Vane*

Pada gambar 4.19 ditampilkan grafik dari *pressure coefficient* pada *elbow 90°* dengan menampilkan data mulai dari sudut 0° sampai dengan sudut 90° dan diambil pada posisi $y/D_h = 0,5$. C_p dihitung secara manual, dengan mengambil data kecepatan dan tekanan referensi pada sisi *inlet ducting*. Dari data grafik diatas, pada sisi *inner wall ducting* tanpa SDB terlihat

trendline grafik menurun sampai sudut sekitar 25^0 ini menunjukkan aliran fluida mengalami akselerasi kemudian *trendline* meningkat sampai sudut 90^0 yang menunjukkan aliran mengalami deselerasi, lalu pada sisi *outer wall* terlihat *trendline* meningkat dari sudut 0^0 sampai sudut 15^0 yang menunjukkan aliran fluida mengalami deselerasi, kemudian aliran mengalami akselerasi yang ditandai dengan menurunnya *trendline* pada sudut 15^0 sampai 90^0 .

Pada *ducting* dengan penambahan SDB pada $l/Dh = 0,1$ pada sisi *inner wall* terlihat aliran mengalami deselerasi pada sudut 0^0 sampai sudut 20^0 kemudian aliran mengalami akselerasi pada sudut 30^0 sampai sudut 90^0 . *Trendline* pada *ducting* dengan penambahan SDB pada $l/Dh = 0,5$ sama seperti $l/Dh = 0,1$, pada sisi *inner wall* terlihat aliran mengalami akselerasi pada sudut 30^0 sampai sudut 90^0 . Sedikit berbeda dengan *trendline* dua variasi di atas, pada variasi SDB $l/Dh = 0,9$ aliran fluida mengalami deselerasi pada sudut 0^0 sampai sudut sekitar 20^0 kemudian aliran mengalami akselerasi pada sudut 20^0 sampai sudut 80^0 lalu aliran mengalami akselerasi yang kecil pada sudut 80^0 sampai 90^0 . Hal tersebut juga sama dengan *trendline* pada *ducting* tanpa penambahan SDB.

Pada sisi *outer wall* untuk semua variasi peletakan SDB memiliki *trendline* yang sama dengan *ducting* tanpa SDB. Terlihat *trendline* meningkat dari sudut 0^0 sampai sudut 15^0 yang menunjukkan aliran fluida mengalami deselerasi, kemudian aliran mengalami akselerasi yang ditandai dengan menurunnya *trandline* pada sudut 15^0 sampai 90^0 . Akselerasi pada aliran menunjukkan bahwa aliran seolah olah melewati *nozzle* pada *elbow* sedangkan aliran yang mengalami deselerasi menunjukkan bahwa aliran seolah-olah melewati *diffuser* pada *elbow*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi numerik diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Profil kecepatan pada *outlet elbow* menunjukkan aliran pada *ducting* dengan SDB memiliki kecepatan yang lebih besar di sekitar *guide vane*. Hal itu menunjukkan bahwa penambahan SDB mampu meningkatkan momentum aliran sehingga bisa mengurangi efek *shear stress* dari *guide vane*. Sementara itu profil kecepatan pada posisi $x/D_h = 26$ sudah mendekati *recovery* bila dibandingkan dengan profil kecepatan pada posisi *upstream duct* $z/D_h = 1$.
- 2) Kontur kecepatan yang dihasilkan pada *ducting* tanpa dan dengan SDB relatif sama dan masih terdapat *secondary flow* pada bagian *center* dan *corner* di posisi $x/D_h = 26$.
- 3) Penempatan SDB pada $l/D_h = 0,1$ dan $0,9$ efektif menurunkan *pressure drop* pada kecepatan 2m/s, sedangkan penempatan SDB pada $l/D_h = 0,5$ dapat menurunkan *pressure drop* pada kecepatan 6m/s. Hal itu dapat dilihat dari profil kecepatan yang terbentuk, pada *upstream duct* tidak terjadi perbedaan yang signifikan, tetapi setelah melewati *elbow* mulai terlihat perubahan dimana dengan adanya penambahan SDB momentum aliran lebih kuat melawan *boundary layer* di sekitar *guide vane* yang ditunjukkan dengan profil kecepatan pada *outlet elbow* dimana aliran pada *ducting* dengan SDB lebih besar daripada *ducting* tanpa SDB.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil studi numerik yang dilakukan, terdapat beberapa hal yang perlu diperbaiki sehingga diperoleh hasil yang lebih baik untuk penelitian selanjutnya. Beberapa saran yang diajukan penulis diantaranya :

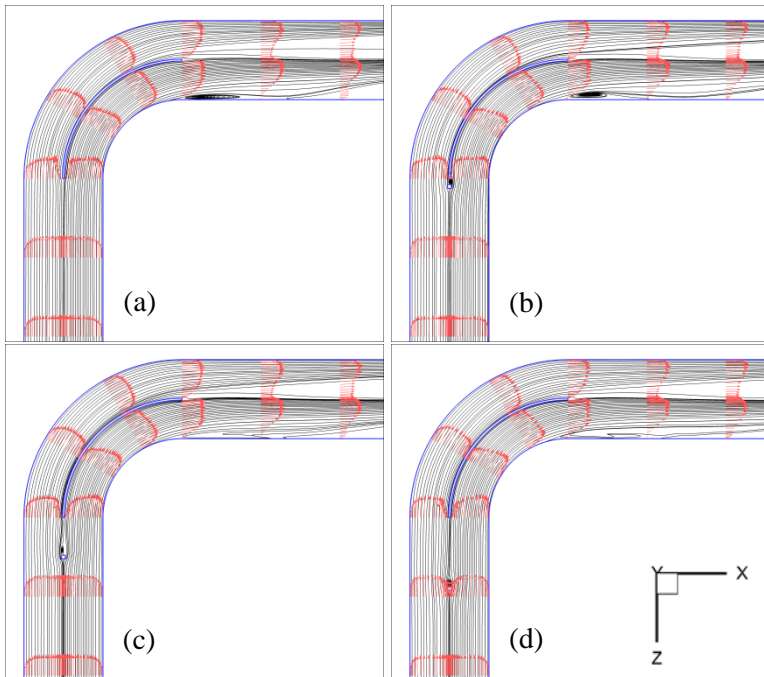
- 1) Perlu adanya sebuah data validasi yang didapat dari penelitian eksperimen, agar hasil yang didapat tidak terlalu jauh dengan yang diharapkan.
- 2) Simulasi dilakukan dengan variasi dimensi SDB yang berbeda-beda untuk menemukan dimensi yang paling optimal untuk mengganggu *boundary layer* dari *guide vane*.
- 3) Simulasi dilakukan pada *elbow* dengan $R/Dh = 2$ atau 3.

DAFTAR PUSTAKA

- Dutta, Prasun & Nandi, Nityananda., 2016. **“Effect of Reynolds Number and Curvature Ratio On Single Phase Turbulent Flow in Pipe Bends”** Mechanic and Mechanical Engineering 2015; vol.19, no. 1: 5-16
- D.S Miller., 1990. **“Internal Flow System”** BHRA (Information Service): 2nd edition.
- Fox, R.W., Mc Donald, A.T. dan Pritchard, P.J. 2011. **Introduction to Fluid Mechanics**, 8th Edition. New York : John Wiley & Sons Inc.
- Gao, Ran., Fang, Zhiyu., Li, Angui., Liu, Kaikai., Yang, Zhigang., Cong, Beihua. 2017. **“Numerical Simulation and Experimental Study of the Drag Reduction of 90° Elbows for Ventilation and Air Conditioning Tubes in An Arc Form”**. 10th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning, ISHVAC2017
- Rup, K., sarna, P., 2011. **“Analysis of Turbulent Flow Through a Square-Sectioned Duct with Installed 90-degree Elbow”**, Flow Measurement and Instrumentation 2011; 22: 383-391
- Sutardi., W., Wawan A., Affan, Ibnu., Iswati., Sutrisno, M. D. 2010. **“Experimental Study on the Effect of Guide Vane Insertion and Reynolds Numbers on the Flow Pressure Drop in a 90° Rectangular Elbow”**. Regional Conference on Mechanical and Aerospace Technology
- Tuakila, Firman. 2008. **Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent**. Bandung : INFORMATIKA

LAMPIRAN

Streamline aliran di sekitar *elbow* pada *ducting* (a) tanpa SDB; (b) SDB $l/Dh = 0,1$; (c) SDB $l/Dh = 0,5$ dan (d) SDB $l/Dh = 0,9$



BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kabupaten Pamekasan pada tanggal 10 April 1995, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Jenjang pendidikan formal yang telah ditempuh penulis adalah SDN Barurambat Kota 1 Pamekasan, SMPN 2 Pamekasan, SMAN 1 Pamekasan dan D3 Teknik Mesin FTI ITS Surabaya.

Pada tahun 2016 penulis mengikuti seleksi masuk Lintas Jalur S1 Teknik Mesin dan diterima sebagai mahasiswa di Lintas Jalur S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan NRP 2116105035. Konversi energi adalah bidang studi yang dipilih penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.

Penulis di jenjang perguruan tinggi aktif di bidang karya tulis ilmiah. Ketika di jenjang D3 penulis membuat karya ilmiah pada PKM yang terdanai oleh DIKTI dengan judul ““GEMAMPUS” Gerakan Masyarakat Jemput Kulit Salak untuk Meningkatkan Daya Guna Kulit Salak sebagai Bahan Bakar Alternatif Briket Ramah Lingkungan”. Kemudian di jenjang S1 penulis kembali membuat karya ilmiah pada PKM yang terdanai oleh DIKTI dengan judul ““BIMITS” Biodiesel Murah ITS Menggunakan Biopolimer dan Teknologi Enzimatik sebagai Sumber Energi Terbaharukan”.

Selain aktif dalam karya tulis ilmiah, penulis juga aktif dalam berbagai pelatihan. Penulis telah menyelesaikan semua tingkat pelatihan manajemen mahasiswa, yaitu LKMM Pra-TD XI FTI-ITS pada tahun 2013, LKMM TD V HMDM FTI-ITS pada tahun 2013, LKMM TM XV FTI-ITS pada tahun 2014, dan LKMM TL 2015 ITS. Selain itu, penulis juga menjadi pemandu

LKMM setelah mengikuti PP LKMM IX FTI-ITS pada tahun 2014.

Selain kegiatan dalam bidang tersebut, penulis juga pernah aktif mengikuti organisasi JMMI TPKI-ITS, BEM FTI-ITS dan HMDM. Di JMMI TPKI-ITS posisi penulis sebagai staff Badan Pelaksana Mentoring, di BEM FTI-ITS sebagai staff Departemen PSDM, dan di HMDM FTI-ITS mendapat amanah sebagai Wakil Ketua.

Demikian sedikit rangkuman tentang penulis, untuk informasi lengkap tentang penulis dapat menghubungi via email ke: nfaf.putera@gmail.com.